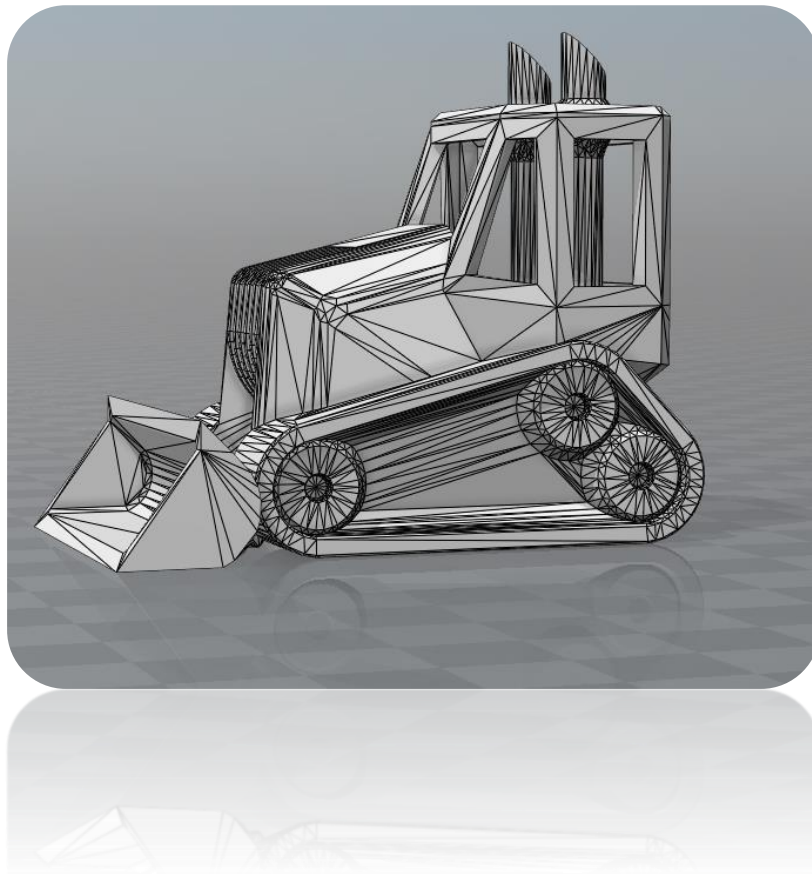


FORSCHUNGSPROJEKT

MODELLE VS. DOKUMENTE – KONZEPTIONELLE GRUNDLAGEN UND IHR EINSATZ IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

Models vs. Documents – Conceptual Elements and Application in Product
Development



Bearbeiter: Cynthia Friedrich
Betreuer: Dipl.-Ing. Marcel Cadet

Kaiserslautern, im Februar 2018

Erklärung

Ich, Cynthia Friedrich

versichere, diese Arbeit selbst und ohne fremde Hilfen, mit Ausnahme der im Text und im Literaturverzeichnis aufgeführten Unterlagen, angefertigt zu haben.

Kaiserslautern, den 19.02.2018

(Cynthia Friedrich)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Kurzzusammenfassung	1
Abstract	1
1 Einleitung	2
2 Modelle und ihre konzeptionellen Grundlagen	4
2.1 Der Modellbegriff	4
2.1.1 Etymologische Herkunft	4
2.1.2 Definition	4
2.2 Das Modell	9
2.2.1 Merkmale und Funktionen	9
2.2.2 Modell-Beziehungssystem	16
2.2.3 Modellklassifikation	17
3 Dokumente und ihre konzeptionellen Grundlagen	23
3.1 Der Dokumentbegriff	23
3.1.1 Etymologische Herkunft	23
3.1.2 Dokumentenverständnis im Laufe der Geschichte	24
3.1.3 Definition	25
3.2 Das Dokument	28
3.2.1 Merkmale und Funktionen	28
3.2.2 Dokumentklassifikation	33
4 Modelle vs. Dokumente	39
4.1 Merkmalsvergleich	39
4.2 Funktionsvergleich	40
5 Modelle und Dokumente in der Produktentwicklung	42
5.1 Traditionelle Produktentwicklung	42
5.1.1 Traditioneller Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221 ...	43
5.1.2 Dokumente und Modelle in der traditionellen Produktentwicklung	47
5.2 Systems Engineering	55
5.2.1 Das V-Modell des Systems Engineering	56
5.2.2 Dokumentenbasiertes Systems Engineering (DBSE)	58
5.2.3 Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE)	60
6 Fazit	63
7 Zusammenfassung und Ausblick	65

8	Literaturverzeichnis	67
A	Überblick verschiedener Modelldefinitionen	79
B	Modellklassifikation	82
B.1	nach Stachowiak	82
B.2	nach Zelewski	83
B.3	nach Scholl	84
B.4	nach Troitzsch	85
C	Überblick verschiedener Dokumentdefinitionen	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Abstraktionsstufen von Modellen	11
Abbildung 2-2:	Allgemeine Modellmerkmale	13
Abbildung 2-3:	Das Modell-Beziehungssystem	16
Abbildung 2-4:	Modellklassifikation	19
Abbildung 3-1:	Aufbau eines Dokuments	30
Abbildung 3-2:	Allgemeine Dokumentmerkmale	32
Abbildung 3-3:	Dokumentklassifikation nach Ranganathan	34
Abbildung 3-4:	Dokumentklassifikation	37
Abbildung 5-1:	Einordnung der Produktentwicklung in den Produktentstehungs- prozess und den Produktlebenszyklus	43
Abbildung 5-2:	Traditioneller Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221	44
Abbildung 5-3:	Phasen bis zur Erstellung der Anforderungsliste	45
Abbildung 5-4:	Zuordnung der Arbeitsergebnisse des traditionellen Produktentwicklungsprozesses zu Modellen und Dokumenten	53
Abbildung 5-5:	Abgrenzung von Produktmodell und Dokument	54
Abbildung 5-6:	Bereiche des Systems Engineering	55
Abbildung 5-7:	Erweitertes V-Modell	57
Abbildung 5-8:	Struktur des DBSE	59
Abbildung 5-9:	Struktur des MBSE	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Ausschnitt verschiedener Modelldefinitionen aus Anhang A	6
Tabelle 2-2:	Überblick verschiedener Modellfunktionen.....	15
Tabelle 3-1:	Ausschnitt verschiedener Dokumentdefinitionen aus Anhang C	26
Tabelle 4-1:	Gegenüberstellung der allgemeinen Modell- und Dokumenten- merkmale.....	39
Tabelle 4-2:	Gegenüberstellung der allgemeinen Modell- und Dokumentenfunktionen.....	41
Tabelle 5-1:	Typische Erscheinungsformen der Arbeitsergebnisse des traditionellen Produktentwicklungsprozesses.....	49

Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer-Aided Design
DBSE	Document-Based Systems Engineering
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
FEM	Finite-Elemente-Methode
MBSE	Model-Based Systems Engineering

Kurzzusammenfassung

Ziel der Arbeit war es die Verwendung von Modellen und Dokumenten im Produktentwicklungsprozess vor dem Hintergrund der Aussage, dass sich die Produktentwicklung von einer modellbasierten zu einer dokumentbasierten wandelt, zu untersuchen. Die Betrachtung von Modellen und Dokumenten auf allgemeiner Ebene hat ergeben, dass sich die beiden Konzepte rein anhand ihrer Definition, ihren Merkmalen und Funktionen nur schwer voneinander unterscheiden lassen und sich somit nicht gegenseitig ausschließen. Die folgende zweigeteilte kontextspezifische Untersuchung, zum einen mit dem Fokus auf die traditionelle Sicht der Produktentwicklung und zum anderen mit Fokus auf das Systems Engineering, hat gezeigt, dass in der traditionellen Produktentwicklung die Verwendung von Modellen überwiegt, diese jedoch in der Literatur überwiegend als Dokumente bezeichnet werden, die Modelle enthalten können. Mit Bezug auf das Systems Engineering konnte eine Fehlbezeichnung bzgl. der Trennung in DBSE und MBSE festgestellt werden, da die Unterscheidung nicht direkt auf der Verwendung von Modellen und Dokumenten basiert, sondern auf einer anderen Art der Informationsübermittlung.

Abstract

The aim of the work was to examine the use of models and documents in the product development process in order to work out the basis for the statement that product development is changing from a model-based to a document-based approach. Looking at models and documents at the general level has shown that it is difficult to distinguish these two concepts from each other purely by their definition, features and functions. Therefore, they are not mutually exclusive. The following two-part, context-specific study, on the one hand focusing on the traditional view of product development and on the other hand on systems engineering, has shown that in traditional product development, the use of models outweighs. However, in the literature, models predominantly referred to as documents that may contain models. With regard to systems engineering, a misnomer regarding the separation into DBSE and MBSE can be determined, since the distinction is not based directly on the use of models and documents, but on a different way of information transmission.

1 Einleitung

Die Produktentwicklung ist in den letzten Jahren einem permanenten Wandel unterlegen. Die Gründe für diesen permanenten Wandel sind dabei vielfältig und resultieren beispielsweise aus veränderten Marktbedingungen oder aus neuen Anforderungen auf Kundenseite an das Produkt [Eig13, S. 92]. Daneben hat sich zum einen das Feld der Produktentwicklung aufgrund der Einbeziehung des gesamten Produktlebenszyklus in die Produktentwicklung vergrößert, was sich darin äußert, dass die Produktentwicklung allgemein komplexer geworden ist und zudem mehr Zeit in Anspruch nimmt [Epp91, S. 283; Hyb09, S. 1]. Zum anderen stellen Elektronik und Software einen immer stärker werdenden Anteil in der Produktentwicklung dar [EGZ17, S. 2; Est08, S. 1; SGB12, S. 37], so dass eine Verschiebung von der Betrachtung rein mechanischer Komponenten hin zu mechatronischen Komponenten zu beobachten ist [Eig14b, S. 39; EGZ17, S. 2]. Ein Konzept, dass diese Entwicklungen durch eine interdisziplinäre Betrachtung des Produkts über den kompletten Produktlebenszyklus hinweg aufgreift, ist das Systems Engineering [Eig13, S. 91]. Allerdings vollzieht auch das Systems Engineering nach Aussagen in der Literatur eine Entwicklung vom klassischen, dokumentenbasiertem Systems Engineering hin zu einem modellbasiertem Systems Engineering [vgl. Eig17, S. 10; FMS15, S. xvii; SGB12, S. 38].

Vor dem Hintergrund dieser Aussage soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Verwendung von Modellen und Dokumenten in der Produktentwicklung untersucht werden, um so zu prüfen, inwiefern dieser Wandel tatsächlich stattfindet. Da ein solcher Wandel impliziert, dass sich Modelle und Dokumente eindeutig voneinander unterscheiden lassen, sollen in Kapitel 2 und 3 zunächst die konzeptionellen Grundlagen der beiden Konzepte ‚Modell‘ und ‚Dokument‘ erarbeitet werden, um so die Basis für eine Differenzierung zu schaffen. Zu den konzeptionellen Grundlagen gehört die etymologische Herkunft der jeweiligen Begriffe, aber auch deren konkrete Definition. Die Definition erfolgt dabei anhand des Vergleichs vieler verschiedener, teils disziplinübergreifender Definitionen, um so letztlich eine allgemein geltende Definition abzuleiten. Neben diesen eher formalen Aspekten von Modellen und Dokumenten, sollen auch deren Merkmale und Funktionen näher betrachtet werden, um dadurch mögliche Differenzierungsmerkmale zu erarbeiten. Eine Klassifikation von Modellen und Dokumenten schließt das jeweilige Kapitel ab. Kapitel 4 beschäftigt sich dann mit dem konkreten Vergleich von Modellen und Dokumenten auf allgemeiner Ebene und anhand ihrer Merkmale und Funktionen. Ziel dieses Kapitels ist die Prüfung ob und inwiefern sich Modelle und Dokumente bereits auf allgemeiner Ebene voneinander unterscheiden lassen und damit die Klärung der Frage, inwiefern der postulierte Wandel von der do-

kumentbasierten zur modellbasierten Produktentwicklung eine Grundlage besitzt. Anschließend an die Differenzierungsprüfung auf allgemeiner Ebene, sollen in Kapitel 5 Modelle und Dokumente im Rahmen der Produktentwicklung betrachtet werden. Konkret soll deren kontextspezifische Definition und Verwendung untersucht werden. Die Betrachtung findet dabei zweigeteilt statt, indem in Kapitel 5.1 zunächst der traditionelle Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221 als Basis dient, woraufhin dann in Kapitel 5.2 der neuere Ansatz des Systems Engineering die Grundlage für die Untersuchung bildet. Vor dem Hintergrund des traditionellen Produktentwicklungsprozesses soll vorrangig analysiert werden, zu welchem der beiden Konzepte sich dessen Arbeitsergebnisse zuordnen lassen. Ziel der Untersuchung des Systems Engineering ist der Vergleich der beiden Unterformen dokumentbasiertes Systems Engineering (DBSE) und modellbasiertes Systems Engineering (MBSE), die den postulierten Wandel bereits namentlich widerspiegeln. Abschließend folgt in Kapitel 6 ein kurzes Fazit, woraufhin Kapitel 7 die wesentlichen Aspekte der Arbeit noch einmal zusammenfasst.

2 Modelle und ihre konzeptionellen Grundlagen

2.1 Der Modellbegriff

Der Begriff ‚*Modell*‘ ist nicht nur im normalen Sprachgebrauch allgegenwärtig, sondern wird auch in der Wissenschaft häufig verwendet [Sal74, S. 172]. Vor allem in der Betriebswirtschaftslehre wird der Terminus ‚*Modell*‘ so oft genutzt wie kaum ein anderer und kommt fast in jedem Beitrag vor [Ric13, S. 280]. Aber auch in anderen Wissenschaftsbereichen sind Modelle von zentraler Bedeutung [Bra13, S. 25]. Grund dafür ist die Tatsache, dass Modelle allgemein als Grundlage der Erkenntnis angesehen werden [Ric13, S. 280–281]. Stachowiak geht in seiner allgemeinen Modelltheorie so weit, dass er die Möglichkeit von Erkenntnis ohne Modelle sogar ausschließt [Sta73, S. 56].

Dennoch ist der Begriffsinhalt häufig unklar [BCK12, S. 13] und eine genaue Definition des Begriffs gestaltet sich als äußerst schwierig [Ric13, S. 280]. Dieser Aspekt liegt unter anderem darin begründet, dass der Terminus ‚*Modell*‘ in den verschiedenen Wissenschaftsbereichen unterschiedlich gedeutet wird und deshalb keine anerkannte einheitliche Definition existiert. [GG81, S. 10; KB08, S. 18]. Auch Goodman betont mit seiner Aussage “[models can be] almost anything from a naked blonde to a quadratic equation“ die fehlende einheitliche Definition des Begriffs [Goo68, S. 171].

Kapitel 2.1 beschäftigt sich daher mit den Fragen woher der Begriff ‚*Modell*‘ ursprünglich stammt und wie er in der bisherigen Literatur definiert wird, um dann eine für diese Arbeit geltende allgemeine Definition abzuleiten.

2.1.1 Etymologische Herkunft

Der Begriff ‚*Modell*‘ geht auf das lateinische Wort ‚*modus*‘ und dessen Verkleinerungsform ‚*modulus*‘ zurück, was im Deutschen mit ‚*Maß*‘ oder ‚*Maßstab*‘ übersetzt werden kann [IK08, S. 7; KB08, S. 18; RSS08, S. 9; Ric09, S. 2; Ric13, S. 281; Sta73, S. 129; Zsc95, S. 218]. Der lateinische Ursprung unseres heutigen Modellbegriffs lässt sich bis in die Antike zurückverfolgen und wurde maßgeblich durch den römischen Baumeister, Ingenieur und Schriftsteller Pollio Vitruvius geprägt [Zsc95, S. 218]. Er brachte mit Hilfe seines Maßstabs, der aus einem halben Säulendurchmesser bestand, die optimalen Proportionen eines Gebäudes zum Ausdruck und für spätere Baumeister und Architekten wurde dieser Maßstab sogar zur Norm [RSS08, S. 9; Zsc95, S. 218].

2.1.2 Definition

Die zuvor erwähnte Unklarheit über den Begriffsinhalt des Terminus ‚*Modell*‘ und das daraus resultierende Fehlen einer anerkannten einheitlichen Definition äußern sich derart, dass in der Literatur eine unüberschaubare Menge an Definitionen des Begriffs ‚*Modell*‘ zu

finden ist [Zsc95, S. 226]. Tabelle 2-1 soll an dieser Stelle daher einen ersten groben Überblick über verschiedene Modelldefinitionen geben. Grundlage zur Entwicklung einer für diese Arbeit geltenden Modelldefinition ist jedoch die vollständige Tabelle in Anhang A. Vergleicht man die Definitionen miteinander, dann sticht die eher kurze und einfache Definition von Churchman (3)¹ hervor, der unter Modellen Dinge versteht, die für das rationale Denken hilfreich sind [Chu73, S. 1]. Er greift in seiner Definition also gewissermaßen den zuvor erwähnten Aspekt der Erkenntnis, die auf Grundlage von Modellen basiert, auf und stützt damit diese These. Bei weiterer Analyse fällt auf, dass fast jede Definition Modelle als ‚etwas von etwas‘ auffassen, wobei das ‚von‘ mit Original oder Realität bezeichnet wird. Aus den Definitionen geht jedoch nicht hervor, was genau unter Original oder Realität verstanden wird. Realität kann grundsätzlich auch als Wirklichkeit bezeichnet werden, also als etwas, das tatsächlich existiert. Das Wort Original stammt von dem lateinischen Wort ‚origo‘ ab und lässt sich mit ‚Ursprung‘ oder ‚Quelle‘ übersetzen [Cre15, S. 435]. Ein Modell müsste sich demnach also auf etwas Ursprüngliches und tatsächlich Existierendes beziehen. Denkt man in diesem Zusammenhang aber beispielsweise an die Produktentwicklung, in der u. a. Zeichnungen als Modelle des späteren Produkts angesehen werden [TJB10, S. 6], dann muss ‚Realität‘ im Sinne einer tatsächlich existierenden Gegebenheit als Grundlage von Modellen in Frage gestellt werden. Denn das reale Produkt existiert in diesem speziellen Fall eben gerade noch nicht, das Modell davon jedoch schon. Allerdings wird Modellen zugeschrieben, sich auch auf eine geplante Wirklichkeit bzw. ein noch zu erzeugendes Original beziehen zu können [Bud79, S. 118; RW69, S. 1229; VDI14, S. 3], wodurch die Problematik der Realität im Zuge von Modellen in der Produktentwicklung aufgehoben wird. Daneben werden aber auch Ideen und Pläne als mögliche Originale nicht ausgeschlossen. Argumentiert man auf Basis dieses Aspekts, dann könnte also auch die Idee des Ingenieurs, als tatsächlich existierendes Konstrukt, das Original einer Produktzeichnung sein, wobei dann aber das fertige Produkt kein (noch zu erzeugendes) Original mehr sein kann [Bud79, S. 112].

Eine weitere Gemeinsamkeit fast aller Definitionen ist die Annahme darüber, in welcher Art und Weise Modelle Bezug zu ihrem Original nehmen: Sie bilden es ab. Einige wenige Definitionen gehen über den reinen Abbildungscharakter hinaus und betrachten Modelle als Repräsentationen ihres Originals. Die Ausweitung auf einen Repräsentationscharakter ist dabei durchaus sinnvoll und hat mittlerweile auch das Konzept der Abbildung abgelöst

¹ Die Zahlen in den runden Klammern entsprechen den jeweiligen Definitionen derselben Nummer in Tabelle 2-1

[SG15, S. 18], denn zieht man an dieser Stelle die Möglichkeit der Repräsentation einer geplanten Wirklichkeit bzw. eines noch zu erzeugenden Originals heran, dann ist die Bezeichnung ‚*Abbild*‘ schlichtweg unzureichend und muss ähnlich der Definition von Eigner et al. (33) um das ‚*Vorbild*‘ ergänzt werden. Ein Modell kann also konkret nicht nur die Wirklichkeit **abbilden**, sondern auch eine geplante Wirklichkeit **vorbilden**.

Weiterhin lässt sich bei der Analyse der Definitionen feststellen, dass der Großteil einem Modell auch eine Zweckgebundenheit bzw. Absicht zuschreibt. Ein Modell wird also nicht grundlos geschaffen, sondern ist immer auf ein konkretes Ziel ausgerichtet, welches wiederum direkten Einfluss auf die Modellkonstruktion an sich hat [Krü12, S. 212].

Tabelle 2-1: Ausschnitt verschiedener Modelldefinitionen aus Anhang A

Nr.	Definition	Quelle
(1)	„Ein Modell ist ein System, das als Repräsentant eines komplizierten Originals auf Grund mit diesem gemeinsamer, für eine bestimmte Aufgabe wesentlicher Eigenschaften von einem dritten System benutzt, ausgewählt oder geschaffen wird, um letzterem die Erfassung oder Beherrschung des Originals zu ermöglichen oder zu erleichtern bzw. um es zu ersetzen.“	[Wüs63, S. 1522f.]
(2)	„Es sei ω ein Original (das schon vorhanden ist oder erst erzeugt werden soll) und $M(\omega)$ eine (nicht leere) Menge von Aussagen über ω . [...]. Dann heißt μ Modell für die Menge $M(\omega)$ genau dann, wenn μ ein System ist, in dem alle Aussagen aus $M(\mu)$ gültig sind, wobei man $M(\mu)$ aus $M(\omega)$ dadurch erhält, daß man in jeder Aussage aus $M(\omega)$ ω durch μ ersetzt.“	[RW69, S. 1229]
(3)	“A model is a device for helping man to think rationally.”	[Chu73, S. 1]
(5)	„[Ein Modell ist] ein Objekt, das auf der Grundlage einer Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original von einem Subjekt eingesetzt und genutzt wird, um eine bestimmte Aufgabe lösen zu können, deren Durchführung mittels direkter Operationen am Original zunächst oder überhaupt nicht möglich bzw. unter gegebenen Bedingungen zu aufwendig ist.“	[KB79, S. 805]
(6)	„Mit Modell bezeichnet man eine Abbildung (analoge Abstraktion) eines Objekts (Originals), das ein Subjekt zu bestimmten Zwecken an Stelle des Objekts verwendet.“	[Sim80, S. 235]
(8)	„[Ein Modell ist] eine vereinfachende Abbildung von Tatbeständen und Prozessen.“	[Str84, S. 68]

(9)	„Ein Modell ist zunächst ein künstlich geschaffener Gegenstand, der in vereinfachter Weise die wesentlichsten Merkmale eines Ausschnittes der Wirklichkeit wiedergibt.“	[Hei85, S. 19]
(10)	„Ein Modell ist stets eine für einen bestimmten Zweck gebildete, vereinfachende Abbildung eines als System aufgefaßten Realitätsausschnitts.“	[Ros86, S. 86f.]
(11)	„Ein Modell ist in jedem Fall ein vereinfachtes Abbild einer komplizierten Wirklichkeit.“	[Han87, S. 84]
(12)	„Gemäß einer weit verbreiteten Auffassung sind Modelle ganz allgemein Abbilder der Realität.“	[Kna87, S. 135]
(14)	„Eine vereinfachte problemadäquate Abbildung eines Ausschnittes der Wirklichkeit durch ein abstraktes System nennt man gewöhnlich ein Modell.“	[CL88, S. 48]
(15)	„Unter einem Modell kann man allgemein die sinnhafte Abbildung eines oder mehrerer ähnlicher Systeme (Urbilder, Originale) auf ein anderes System (Abbild, Bild) verstehen.“	[Dyc94, S. 23]
(16)	„[Ein Modell ist] eine vereinfachte Abbildung, die zu dem Zweck ersonnen wurde, das unverstandene Objekt handlicher und ‚verständlicher‘ zu machen.“	[Sch92, S. 59]
(22)	Das Modell stellt ein Abbild der Realität dar, welches Informationen in eine individuelle Struktur bringt, um ein subjektives Ordnungsverständnis aufzubauen.	[Fuc05, S. vi]
(23)	„Ein Modell ist ein (vereinfachtes) Abbild eines realen Systems oder Problems (Urbild).“	[Sch08, S. 36]
(27)	„Ein Modell ist eine dem Zweck entsprechende Repräsentation (der Vertreter) eines Originals.“	[VDI09, S. 158]
(28)	„Ein Modell ist eine zweckorientierte relationseindeutige Abbildung der Realität.“	[BCK12, S. 14]
(31)	„Als Modell gilt die zweckmäßig verkürzte Abbildung eines Originals, die der Modellbauer zur Erreichung eines bestimmten Erkenntnisziels konstruiert.“	[Ric13, S. 284]
(33)	„Ein Modell ist ein Abbild bzw. ein Vorbild für ein System oder einen Prozess. Ein Modell kann ein begriffliches (z. B. mathematisches, informationstechnisches) oder ein physisches (z. B. maßstäblicher stofflicher Prototyp) Gebilde sein.“	[ERZ14, S. 80]

Ganz zu Beginn von Kapitel 2.1 wurde hervorgehoben, dass bisher noch keine anerkannte einheitliche Definition des Begriffs ‚Modell‘ existiert. Ein Aspekt, der auch in der Literatur kritisch angemerkt wird [BCK12, S. 13; GG81, S. 10; Goo68, S. 171; KB08, S. 18]. Betrachtet man sich nun allerdings die Ergebnisse des Vergleichs vierunddreißig verschiedener Definitionen des Modellbegriffs, die sich über einen Zeitraum von mehr als fünfzig Jahren und gleichzeitig auch über unterschiedliche Disziplinen erstrecken, stellt man fest, dass sich der Großteil der Definitionen kaum voneinander unterscheidet. Ganz im Gegenteil, die Kernaspekte stimmen bei fast allen überein. Ungeachtet dessen ist die Kritik an der unterschiedlichen Deutung in verschiedenen Wissenschaftsbereichen nicht vollkommen haltlos. Die Differenzen finden sich jedoch eher in Details, als in der Kerndefinition eines Modells. Im Grunde spiegeln die Unterschiede Spezifizierungen der Definition auf den jeweiligen Wissenschaftsbereich wieder [JR10, S. 25], die durchaus sinnvoll sind und einer „Überhomogenisierung“ des Modellbegriffs vorbeugen [Sta73, S. 4]. Die Spezifizierungen können grundsätzlich sowohl die Art der Repräsentation (Vor- oder Abbild), die konkrete Ausgestaltung der Repräsentation (z. B. grafisches oder physisches Modell), den Charakter des Originals (z. B. Produkt oder Verhaltensweise) als auch den verfolgten Zweck (z. B. Prognose oder Erklärung) betreffen [Tho17, S. 5].

So sind Modelle in der Kunstwissenschaft meistens Vor- statt Abbilder [TJB10, S. 5] und können in konkreter Form sowohl Menschen sein, die als Vorlage für das Kunstwerk dienen als auch in verkleinerter Form ausgeführte Entwürfe einer Tonarbeit, also physische Objekte [KB08, S. 19]. In der Betriebswirtschaftslehre bilden Modelle ihr Original oft in verbaler oder grafischer Form ab [TJB10, S. 5], wohingegen in der Mathematik die Repräsentation mit Hilfe von mathematischen Gleichungen erfolgt [IK08, S. 9]. In der Informatik werden zur Abbildung Programmiersprachen und Datenstrukturen verwendet [Bro98, S. 3], in den Ingenieurwissenschaften zumeist Zeichnungen und Gleichungssysteme [TJB10, S. 6].

Die vorherigen Ausführungen zeigen ganz deutlich, dass trotz der Kritik über eine fehlende einheitliche Definition des Modellbegriffs in verschiedenen Wissenschaftsbereichen dennoch (unbewusste) Einigkeit darüber herrscht, welche Kernelemente ein Modell ausmachen. Diese Kernelemente sollen deshalb auch Grundlage der für diese Arbeit geltenden allgemeinen Modelldefinition sein, die wie folgt lautet:

Ein Modell ist eine zweckgebundene Repräsentation eines Originals.

2.2 Das Modell

Nach der Festlegung auf eine allgemeine Definition des Begriffs ‚Modell‘ in Kapitel 2.1.2, sollen im Rahmen von Kapitel 2.2.1 nun zunächst die Merkmale von Modellen analysiert und anschließend erklärt werden, welche Funktionen sie erfüllen können. Weitergehend soll der Fokus in Kapitel 2.2.2 dann auf das Modell in seiner Beziehung zur Umwelt gelegt werden, um eventuelle Wechselwirkungen mit ihr herauszustellen. Kapitel 2.2.3 schließt mit der Erarbeitung einer Modellklassifizierung den Themenblock ‚Modelle und ihre konzeptionellen Grundlagen‘ ab.

2.2.1 Merkmale und Funktionen

In der Literatur sind vor allem drei Merkmale, die auf der allgemeinen Modelltheorie von Stachowiak aus dem Jahre 1973 [Sta73] beruhen und als die drei Grund- bzw. Hauptmerkmale von Modellen angesehen werden können [Bra13, S. 26; Sch92, S. 59], anerkannt und werden von vielen Autoren übernommen [vgl. Bra13, S. 26; ERZ14, S. 80; God17, S. 10; GL03, S. 47; Kir15, S. 789ff.; Krü12, S. 212f.; KW08, S. 77; NW03, S. 47; Ric09, S. 7f.; Rop80, S. 125; SG15, S. 18f.; Sch92, S. 59; Sim80, S. 236; TJB10, S. 8ff.]:

- Abbildendes Merkmal
- Pragmatisches Merkmal
- Verkürzendes Merkmal

Abbildendes Merkmal

„Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können“ [Sta73, S. 131]. Das abbildende oder auch Abbildungsmerkmal bezieht sich also auf ein Kernelement der Modelldefinition und lässt sich somit auch bereits aus ihr ableiten. Denkt man allerdings zurück an die in Kapitel 2.1.2 angesprochene Problematik eines möglicherweise noch nicht tatsächlich existierenden Originals, so kann die Merkmalsbezeichnung ein wenig irreführend sein, denn sie beinhaltet nur die ‚Abbildung‘. Zwar geht aus der ursprünglichen Erläuterung von Stachowiak und auch aus anderen Ausführungen [ERZ14, S. 80] durchaus hervor, dass es sich auch um Repräsentationen künstlicher, also eventuell noch zu schaffender, Originale und damit Vorbilder handeln kann, dennoch sollte man die Bezeichnung des Merkmals auf vor- und abbildendes Merkmal anpassen, um Missverständnissen vorzubeugen.

Pragmatisches Merkmal

„Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen“ [Sta73, S. 132f.]. Das pragmatische Merkmal lässt sich genau wie das abbildende Merkmal auch direkt aus der Definition ableiten und umfasst gleich drei Fragen: Für wen? Für wann? Wozu? Das bedeutet zum einen, dass ein Modell immer für eine bestimmte Person oder einen Personenkreis geschaffen wird, oft für den Modellbauer selbst [TJB10, S. 9]. Gleichzeitig existieren Modelle aber auch immer für bestimmte Zeiträume bzw. sind nur für diese relevant. Die Frage ‚Wozu?‘ spielt den Modellzweck an, also wofür ein Modell überhaupt geschaffen wird. Die Bedeutung dieses Merkmals impliziert dabei, dass die drei enthaltenen Aspekte auch die konkrete Gestaltung des Modells beeinflussen. Wie sich also ein Modell genau darstellt, ist also letztlich von diesen drei Aspekten abhängig [Krü12, S. 212]. Dabei lässt vor allem die Beeinflussung durch ein Subjekt namentlich schon eine gewisse Subjektivität von Modellen erahnen [Ric09, S. 8], die durch das letzte der drei Grundmerkmale, dem verkürzenden Merkmal, weiter betont wird.

Verkürzendes Merkmal

„Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen“ [Sta73, S. 132]. Aus dem Verkürzungsmerkmal geht zum einen die zuvor angesprochene Subjektivität von Modellen, die auch schon beim pragmatischen Merkmal zu erkennen ist, hervor, zum anderen aber auch noch ein weitaus wichtigerer Aspekt, die Verkürzung. Verkürzung bedeutet dabei gewissermaßen eine Filterung der Eigenschaften des Originals. Es sind also in der Regel nicht alle Merkmale eines Originals auch in seinem Modell zu finden [God17, S. 11]. Wäre dies der Fall, würde es sich nicht um das Modell eines Originals handeln, sondern um eine Kopie davon [IK08, S. 7; Sta73, S. 153]. Grund für die Merkmalsfilterung ist eine der im weiteren Verlauf dieses Kapitels behandelten Funktionen von Modellen, die Vereinfachung [BCK12, S. 14; God17, S. 11]. Oft wird dieser Aspekt zusätzlich zum abbildenden und pragmatischen Merkmal mit in die Modelldefinition aufgenommen. In der dieser Arbeit zugrunde gelegten Definition wurde jedoch auf das Einbeziehen des Verkürzungsmerkmals im Sinne einer Vereinfachung bewusst verzichtet, denn ein Modell muss nicht zwangsläufig einfach sein, nur weil es nicht alle Merkmale des Originals beinhaltet. Ganz im Gegenteil, ein Modell kann trotz Verkürzung auch sehr komplex sein [Sta73, S. 56].

Im Zusammenhang mit dem Verkürzungsmerkmal stellt sich die Frage, wie stark verkürzt oder vereinfacht ein Modell grundsätzlich sein kann, wie es also um die Abbildungs- bzw. Repräsentationsgenauigkeit steht. Zur Beantwortung dieser Frage kann der Abstraktionsgrad in Form von Abstraktionsstufen herangezogen werden, der als Maß für die Abbildungsgenauigkeit dient [VDI14, S. 24]. In Abbildung 2-1 sind elf potenzielle Abstraktionsstufen schematisch am Beispiel eines Baums dargestellt.

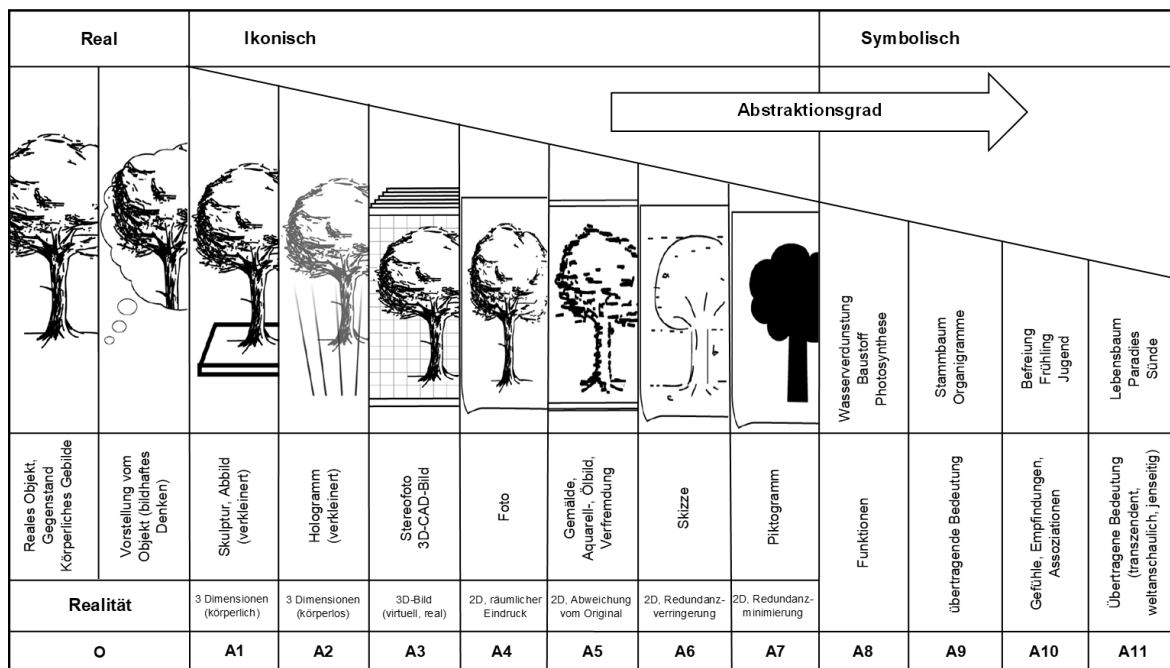


Abbildung 2-1: Abstraktionsstufen von Modellen (in Anlehnung an [Gie90, S. 55; GAL15, S. 100])

Abbildung 2-1 ist in drei Bereiche aufgeteilt: den realen Bereich, den ikonischen, also den bildlich-anschaulichen Bereich und den symbolischen oder auch mathematisch, verbal-abstrakten Bereichen [VDI96, S. 10]. Der reale Bereich umfasst das Original (O), das durch ein Modell repräsentiert werden soll. Das Original kann dabei sowohl als körperliches Gebilde bereits existieren als auch in Form von Ideen oder Vorstellungen vorliegen. Der ikonische (A1 – A7) und symbolische Bereich (A8 – A11) beinhalten die verschiedenen Abstraktionsstufen, wobei der Abstraktionsgrad vom ikonischen hin zum symbolischen Bereich zunimmt. Weiterhin kann der ikonische Bereich in zwei weitere Teile untergliedert werden: dreidimensionale Abstraktionsstufen (A1 – A3) und zweidimensionale Abstraktionsstufen (A4 – A7).

Bis zu welcher Abstraktionsstufe handelt es sich aber noch um Modelle, als verkürzte Repräsentationen eines Originals? Der Definition folgend ist die Festlegung auf die Abstraktionsstufen A1 bis A7 unproblematisch. Geht man jedoch über zum symbolischen Bereich, ist es schwieriger festzulegen bei welchen Abstraktionsstufen es sich noch um ein Modell

handelt. Dennoch müssen auch die Abstraktionsstufen A8 und A9 zur potenziellen Repräsentationsgenauigkeit von Modellen mithergezogen werden, denn sie erfüllen neben der Verkürzung auch die beiden anderen Grundmerkmale. Ab Abstraktionsstufe A10 wird jedoch das pragmatische Merkmal verletzt und zwar in der Art, als dass eine solche Art von Modell aufgrund der extremen Subjektivität nicht mehr für andere Personen als den Modellschöpfer nutzbar wäre.

Zwar sind die zuvor genannten Hauptmerkmale von Modellen in der Literatur weit verbreitet und akzeptiert, dennoch merkt zum Beispiel Salzmann an, dass sie zwar zutreffend, aber nicht hinreichend sind [Sal74, S. 177]. Er fügt neben dem Abbildungs-, dem Verkürzungs- und dem pragmatischen Merkmal, welches er als Subjektivierungsmerkmal bezeichnet, noch vier weitere Merkmale an:

- Akzentuierung
- Intentionalität
- Transparenz
- Instrumentalität

Mit Intentionalität umschreibt Salzmann, dass Modelle immer im Zuge einer bestimmten Absicht konstruiert werden. Die Instrumentalität verweist auf die Übernahme von Funktionen [Sal74, S. 178]. Beide Merkmale sind nicht ganz trennscharf und können deshalb auch nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Zudem werden sowohl die Intentionalität als auch die Instrumentalität durch das pragmatische Merkmal in den ursprünglichen Modellmerkmalen von Stachowiak bereits abgedeckt, so dass sie als überflüssig angesehen werden können. Die Akzentuierung steht in starkem Zusammenhang mit dem verkürzenden Merkmal und sagt aus, dass es in einem Modell eben nicht ausreichend ist die Merkmale des Originals nur verkürzt abzubilden, sondern dass zusätzlich noch Akzentuierungen vorgenommen werden müssen, also Wesentliches hervorgehoben werden muss, um so letztlich Kontraste zu schaffen. Buddensiek erklärt die Akzentuierung sehr anschaulich am Beispiel einer Straßenkarte. In ihr findet eine Akzentuierung beispielsweise derart statt, dass wichtige Orte fett abgedruckt sind und Autobahnen von Landstraßen farblich unterschieden werden [Bud79, S. 116]. Die Verkürzung und Akzentuierung führen zusammen dann zu dem Merkmal der Transparenz. Transparenz bedeutet ganz einfach, dass es durch das Zusammenspiel von Verkürzung und Akzentuierung trotz der Subjektivität von Modellen auch für andere Personen als den Modellbauer selbst möglich ist, mit dem Modell zu arbeiten und es für seinen Zweck einzusetzen [Sal74, S. 178]. So ist auch eine Straßenkarte normalerweise für einen geübten Autofahrer direkt zu dem Zweck der Orientierung und Wegfindung einsetzbar, obwohl er an der Modellkonstruktion nicht beteiligt war [Bud79, S. 116]. Wichtig dabei ist aber der Aspekt des *„geübten“* Autofahrers. Um das Merkmal der Transparenz zu erfüllen, muss ein Modell nämlich nicht für jede Person verständlich sein,

sondern immer nur für einen bestimmten Personenkreis, der im Kontext des Modellzwecks Erfahrung hat. So sollte eine technische Zeichnung beispielsweise für jeden Ingenieur nachvollziehbar und verständlich sein, für einen Betriebswirt nicht zwangsläufig. Die Erweiterung der drei Grundmerkmale um die Akzentuierung und die Transparenz kann also insgesamt als sinnvoll und nachvollziehbar erachtet werden, so dass schlussendlich fünf für jedes Modell geltende Merkmale festgehalten werden können:

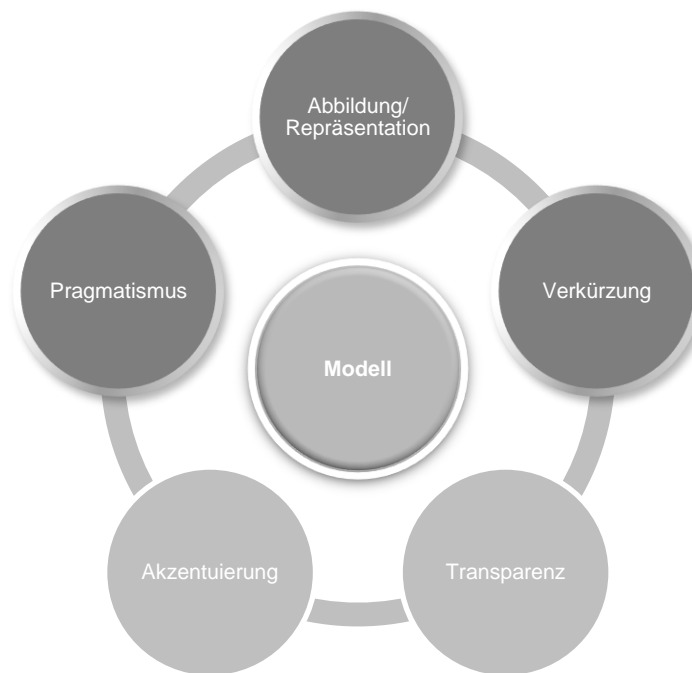


Abbildung 2-2: Allgemeine Modellmerkmale (in Anlehnung an [Sal74, S. 178; Sta73, S. 131ff.])

Nach der Erläuterung der Merkmale eines Modells sollen nun in Anlehnung an das pragmatische Merkmal die konkreten Funktionen von Modellen beschrieben werden. Die Liste von möglichen Modellfunktionen in der Literatur ist ähnlich wie die Liste an verschiedenen Modelldefinitionen lang. Aus diesem Grund soll auch hier Tabelle 2-2 einen ersten Überblick geben, um dann anhand dieser Übersicht die Kernfunktionen von Modellen herauszuarbeiten. Vergleicht man die Funktionen in Tabelle 2-2 dann fällt auf, dass drei der Funktionen von fast allen der Autoren genannt werden: die **Beschreibung**, die **Erklärung** und die **Prognose**. Aus diesem Grund soll auf diese drei spezifischen Funktionen beginnend mit der Beschreibungsfunktion nun etwas näher eingegangen werden.

Beschreibungsfunktion

Bei dem Einsatz von Modellen zur Beschreibung von Sachverhalten oder Objekten geht es um das reine systematische und objektive Beschreiben, ohne bereits allgemeine Gesetzmäßigkeiten abzuleiten oder Erkenntnisse zu gewinnen [Dyc94, S. 26]. Die Beschreibung

sollte daher auch möglichst unvoreingenommen sein [TJB10, S. 15], was allerdings im Hinblick auf die Subjektivität, der Modelle generell unterliegen, als eher schwierig anzusehen ist. Dennoch ist die Beschreibung eine grundlegende Funktion von Modellen, denn vor allem aufgrund des Merkmals der Verkürzung ist die Beschreibung des Originals mit Hilfe von Modellen oft einfacher.

Erklärungsfunktion

Die Erklärungsfunktion geht schon einen Schritt weiter als die Beschreibungsfunktion und ist relativ vielfältig. Die Erklärung ist trotzdem grundsätzlich eng mit der Beschreibung verknüpft, es wird jedoch versucht darüber hinaus auch Erkenntnisse über das Original zu gewinnen [Dyc94, S. 26]. Die durch Modelle gewonnen Erkenntnisse müssen aber nicht elementar sein, sondern können auch lediglich zum tieferen Verständnis oder zur Ursachenfindung bereits bekannter Sachverhalte oder Aspekte dienen [KB79, S. 808]. Daneben kann sich die Erklärungsfunktion aber auch auf andere Personen beziehen. In diesem Fall dient das Modell nicht zur Erklärung im Sinne einer Erkenntnisgewinnung, sondern zur besseren Verständlichkeit für eventuell Fachfremde [TJB10, S. 15].

Prognosefunktion

Die Prognosefunktion ist losgelöst von der Beschreibungs- und Erklärungsfunktion. Bei ihr geht es darum Verhaltensweisen oder Ereignisse vorauszusagen [Bud79, S. 121]. Die Ergebnisse einer solchen Vorhersage, die mit Hilfe von Modellen durchgeführt wurde, können dann natürlich weiterführend auch die Grundlage für Entscheidungen als eine weitere potenzielle Modellfunktion sein. In engem Zusammenhang mit der Prognosefunktion steht auch die Simulationsfunktion, die ebenfalls von einigen Autoren angeführt wird [Rog95, S. 51; TJB10, S. 16]. Der Unterschied zwischen der Simulation und der Prognose liegt dabei weniger im Zweck, sondern in der Art des Modells. Während grundsätzlich zur allgemeinen Prognose auch materielle bzw. stoffliche Modelle herangezogen werden, ist die Simulation auf nicht-stoffliche Modelle, konkret informatische oder Computermodelle beschränkt [TJB10, S. 17].

Neben diesen drei Funktionen enthält die Übersicht noch eine Menge weiterer potenzieller Modellfunktionen wie z. B. die Berechnung, die Planung und Gestaltung und die Verifikation. Allerdings sind diese Modellfunktionen spezifischer als die drei zuvor genannten und nicht zwangsläufig auf jede Art von Modell anwendbar und für jeden Modellkontext zutreffend, weshalb auf die genaue Erklärung der Funktionen an dieser Stelle verzichtet wird. Die Beschreibungs-, Erklärungs- und Prognosefunktion hingegen sind weniger spezifisch und für fast alle Modelle in fast jedem Kontext möglich und können deshalb als die drei Hauptfunktionen von Modellen angesehen werden.

Tabelle 2-2: Überblick verschiedener Modellfunktionen

Quelle	Funktionen
[KB79, S. 808]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erkenntnis ▪ Erklärung und Demonstration ▪ Indikation ▪ Variation und Optimierung ▪ Verifikation ▪ Projektierung (Konstruktion) ▪ Steuerung ▪ Ersatz
[Bud79, S. 120ff.]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Heuristische oder erkenntnisfördernde Funktion ▪ Strukturierung und Deskription ▪ Training ▪ Steuerung ▪ Ersatz ▪ Prognose oder Antizipation ▪ Innovation ▪ Kontrolle oder Evaluation
[Rog95, S. 51]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demonstration und Beschreibung ▪ Erkenntnis und Erklärung ▪ Darstellungen des Prinzips ▪ Pointierung und Präzisierung ▪ Simulation und Substitution ▪ Prognose ▪ Klassifikation, Skalierung und Messung ▪ Kennzeichnung statistischer Operationen
[Dyc94, S. 26f.]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung ▪ Erklärung ▪ Entscheidung
[SK97, S. 5]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deskription/Beschreibung ▪ Explikation/Erklärung ▪ Disposition/Entscheidung ▪ Prognose/Voraussage
[TJB10, S. 8,16]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung ▪ Erklärung und Demonstration ▪ Prognose ▪ Planung und Gestaltung ▪ Verbesserung ▪ Berechnung ▪ Experimentieren ▪ Simulation
[Ric13, S. 282]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung ▪ Erklärung ▪ Entscheidung ▪ Prognose

2.2.2 Modell-Beziehungssystem

Aus den vorherigen Kapiteln lässt sich ableiten, dass ein Modell nie für sich alleine existiert. Es ist immer in seine Umwelt eingebettet und steht mit ihr in bestimmten Beziehungen. Einige Autoren haben daher versucht das Konzept des ‚Modells‘ und seiner Konstruktion grafisch anschaulich darzustellen [Dyc94, S. 23; Ric13, S. 281; TJB10, S. 10]. Abbildung 2-3 versucht die Ansätze zu kombinieren und ein umfassendes Modell-Beziehungssystem wiederzugeben. Aus Abbildung 2-3 lässt sich entnehmen, dass das Konzept des ‚Modells‘ vier Kernbereiche enthält: das Modell selbst, den Modellbauer, das Original und den Modellzweck.

Dem Modellbauer, auch Modellsjekt genannt, kommt eine zentrale Rolle zu. Zunächst verfolgt er einen konkreten Zweck, den er mit Hilfe eines Modells erfüllen möchte. Um aber überhaupt ein Modell konstruieren zu können, muss er auch das Original, auch Modellobjekt genannt, analysieren. Nach der Analyse des Originals erfolgt unter Einfluss des verfolgten Zwecks und der subjektiven Analyseergebnisse die Konstruktion des Modells. Der Einfluss von Modellbauer und Modellzweck wird durch den Filter in Abbildung 2-3 hervorgehoben. Das konstruierte Modell repräsentiert dann letztlich die gefilterten Eigenschaften und Merkmale des Originals und kann zu dem ursprünglich vorgesehen Modellzweck eingesetzt werden.

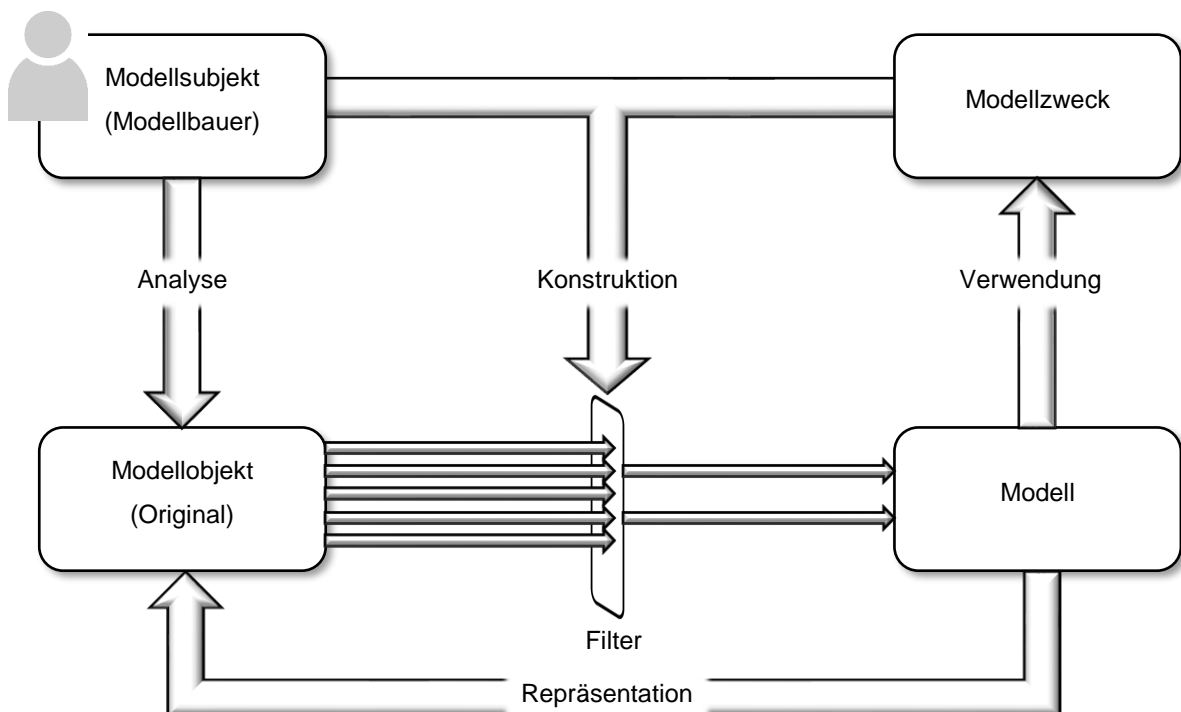


Abbildung 2-3: Das Modell-Beziehungssystem (in Anlehnung an [Dyc94, S. 23; Ric13, S. 281; TJB10, S. 10])

Die Erklärung von Abbildung 2-3 macht nicht nur deutlich in welcher Beziehung das Modell zu seiner Umwelt steht und aus welchen Elementen die Umwelt überhaupt besteht, sondern lässt auch erkennen, dass das Modell-Beziehungssystem auch gleichzeitig die drei Hauptmerkmale eines Modells (Repräsentation, Pragmatismus und Verkürzung) abbildet.

2.2.3 Modellklassifikation

Ohne Zweifel lässt sich die Aussage treffen, dass es nicht ‚das eine‘ Modell gibt. Ganz im Gegenteil: wie bereits zuvor angedeutet, gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Modellen. Sei es die technische Zeichnung eines Produkts, ein elektrischer Schaltplan, das Gemälde einer Landschaft, ein CAD-Modell oder die Nachbildung des menschlichen Auges aus Plastik. All diese Beispiele sind Modelle, die sich jedoch ganz offensichtlich voneinander unterscheiden. Dies wirft die Frage auf, ob sich Modelle in irgendeiner Art und Weise klassifizieren lassen.

Klassifikation bedeutet ganz allgemein, dass Objekte anhand von bestimmten Kriterien, Regeln, Merkmalen oder Begriffen zu einer Gruppe zusammengefasst werden [JR10, S. 25; Mül12, S. 524]. Nach Friedrichs muss eine Klassifikation zudem drei Anforderungen erfüllen: Eindeutigkeit, Ausschließlichkeit und Vollständigkeit. Eindeutig heißt, dass jedem Objekt die Merkmalsausprägung einer Gruppe zugeordnet werden kann. Die Ausschließlichkeit ist erfüllt, wenn dem Objekt nur eine und nicht mehrere Merkmalsausprägungen einer Gruppe zugeordnet werden können. Vollständig ist eine Klassifikation dann, wenn die anderen beiden Bedingungen erfüllt sind, jedem Objekt also genau eine der Merkmalsausprägungen einer Gruppe zugeordnet werden kann [Fri90, S. 88f.].

Einige Autoren haben bereits Klassifizierungen für Modelle vorgeschlagen. So hat z. B. auch Stachowiak in seiner allgemeinen Modelltheorie eine relativ breit gefächerte Klassifikation vorgenommen (siehe Anhang B.1) [Sta80, S. 32ff.]. Er nennt dabei graphische, technische und semantische Modelle als seine drei Hauptgruppen. Er versteht dabei unter graphischen Modellen „wesentlich zweidimensionale anschaulich-räumliche Originalabbildung[en]“ (z. B. Fotografie) [Sta73, S. 159], unter technischen Modellen „raum-zeitliche und materiell-energetische Repräsentationen von Originalen“ (z. B. Globus) [Sta73, S. 174] und unter semantischen Modellen die Artikulation von Vorstellungen, Wahrnehmungen und Gedanken [Sta73, S. 196ff.]. Jockisch und Rosendahl, die sich intensiv mit der Klassifikation von Modellen auseinandergesetzt haben, kritisieren die Klassifikation von Stachowiak allerdings aufgrund der nicht trennscharfen und auch nicht nachvollziehbaren Auswahl der Hauptgruppen [JR10, S. 26f.]. Die Gruppe der technischen Modelle lässt zum Beispiel auf das herangezogene Kriterium des Einsatzfeldes von Modellen schließen, allerdings gibt es

zu den technischen Modellen keinen Gegenpart. Die Klassifikation ist also in sich nicht schlüssig und daher als ungeeignet einzustufen.

Ein weiterer Klassifikationsversuch stammt von Zelewski (siehe Anhang B.2) [Zel08, S. 45]. Er unterscheidet sprachliche und physikalische Modelle, aber auch hier lässt sich genau wie bei der Klassifikation von Stachowiak mit der nicht eindeutigen Auswahl der Gruppen argumentieren. Die Gruppe der sprachlichen Modelle lässt eine Einordnung nach der konkreten Darstellungsform des Modells vermuten, wohingegen die Gruppe der physikalischen Modelle eher eine Einordnung nach dem Einsatzzweck widerspiegelt. Beiden Gruppen fehlen jedoch auch hier Gegenstücke. Zudem gibt es bei Zelewski's Klassifikation Überschneidungen zwischen den Merkmalen zweier verschiedener Gruppen, was gegen die allgemeinen Anforderungen an eine Klassifikation verstößt, da das gleiche Merkmalskriterium für zwei verschiedene Hauptgruppen herangezogen wird. Im Endeffekt ist also auch seine Klassifikation als unzureichend und ungeeignet einzustufen.

Scholl geht in seinem Ansatz zur Modellklassifikation (siehe Anhang B.3) bzgl. der Gruppenauswahlkriterien präziser und nachvollziehbarer vor [Sch08, S. 36f.]. Er unterscheidet zum einen nach dem Einsatzzweck und zum anderen nach der Art der Information und der Art der Abstraktion. Auch die konkreten Merkmalsausprägungen der ersten beiden Unterscheidungskriterien sind logisch. Die Merkmalsausprägungen in der Gruppe ‚Art der Abstraktion‘ sind aber nicht ganz eindeutig. So lässt sich die Einordnung von Total- und Partialmodellen in diese Gruppe noch nachvollziehen, aber als Obergruppe für statische und dynamische Modelle würde man jedoch eher den Zeitbezug vermuten. Zudem ist seine Klassifikation auch weniger umfangreich und daher nicht ausreichend um zumindest im Ansatz alle potenziell denkbaren Arten von Modellen abzudecken.

Eine sehr gute und umfangreiche Klassifikation stammt von Troitzsch (siehe Anhang B.4) [Tro90, S. 12ff.]. Er entwickelt insgesamt sechs Hauptgruppen, die auch in ihren konkreten Merkmalsausprägungen nachvollziehbar und in sich schlüssig sind. Dennoch gibt es auch hier einen Kritikpunkt, denn nicht jedem Modell kann eine Merkmalsausprägung aus einer Gruppe zugeordnet werden. Man betrachte die Gruppe ‚nach Art der Funktion‘ und versucht dem Foto eines Berges als Beispiel für ein Modell eine der zugehörigen Merkmalsausprägungen zuzuordnen. Das Ergebnis ist ernüchternd, eine Zuordnung ist schlichtweg nicht möglich. Letztlich ist auch die Klassifikation von Troitzsch, auch wenn sie einen guten Ansatz darstellt, ungenügend.

Trotzdem dient die Vorgehensweise der Klassifikation von Troitzsch zusammen mit allen bisher angesprochenen Aspekten, Merkmalen und Funktionen von Modellen als Grundlage für den in Abbildung 2-4 ersichtlichen Versuch einer umfassenden und eindeutigen Modellklassifikation.

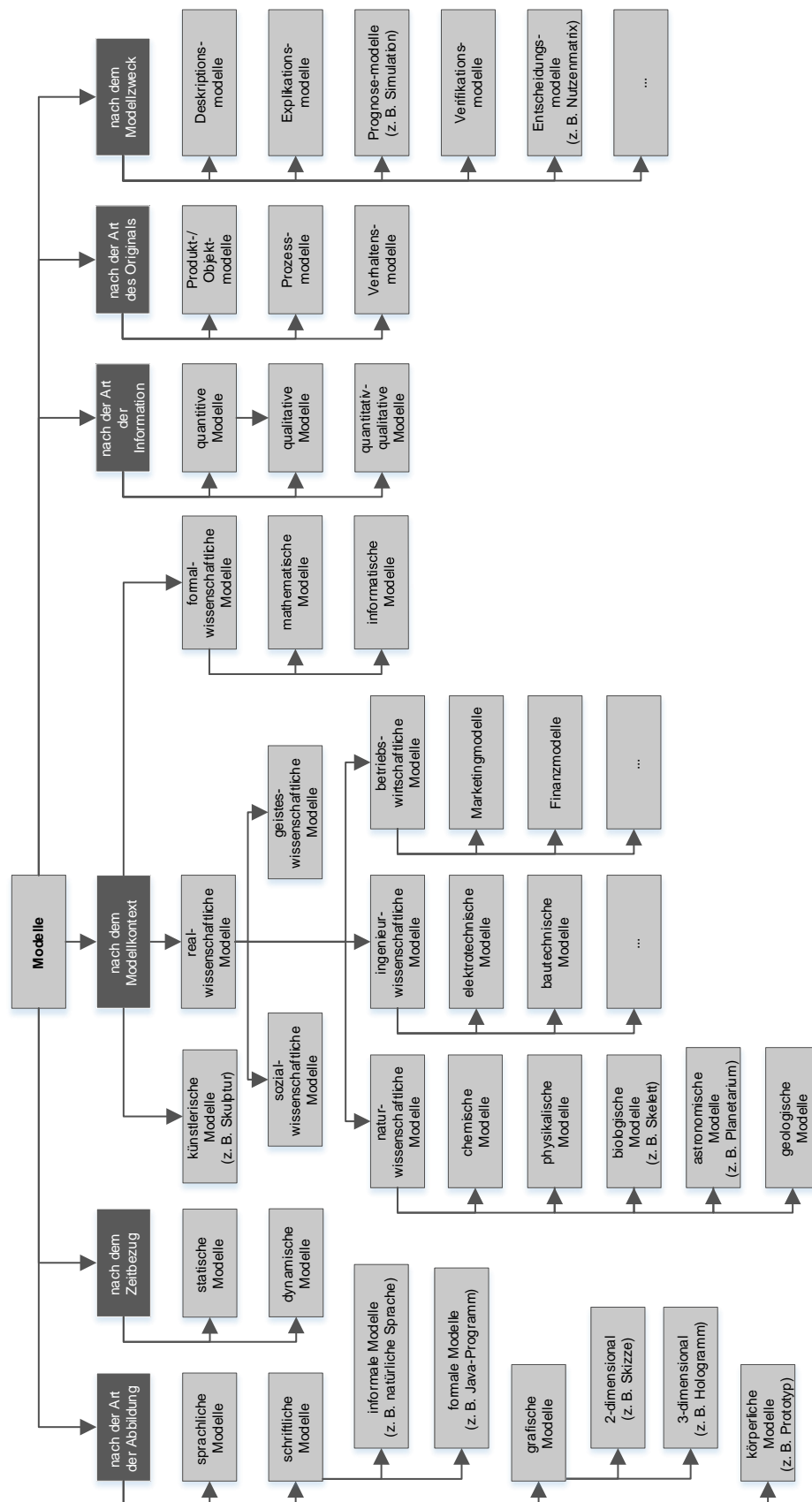


Abbildung 2-4: Modellklassifikation (in Anlehnung an [Sch08, S. 36f.; Tro90, S. 12ff.])

Aus Abbildung 2-4 lässt sich entnehmen, dass eine Klassifizierung nach insgesamt sechs Aspekten vorgenommen wurde:

- nach der Art der Abbildung
- nach dem Zeitbezug
- nach dem Modellkontext
- nach der Art der Information
- nach der Art des Originals
- nach dem Modellzweck.

Unter der Art der Abbildung ist die konkrete Darstellungsform des Modells zu verstehen. Dazu gehören sprachliche, schriftliche, grafische und körperliche Modelle. Sprachliche Modelle sind alle Originalrepräsentationen, die lediglich verbal zum Ausdruck gebracht werden und die somit auch nur akustisch wahrnehmbar sind. Schriftliche Modelle bezeichnen alle Originalrepräsentationen, die in Form einer Sprache, sowohl informell als auch formal, vorliegen. Informelle Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass sie in einer natürlichen ausgedrückt sind, wohingegen formale Modelle in formaler (mathematischer) Sprache vorliegen. Grafische Modelle können sowohl eine zwei- als auch dreidimensionale Gestalt haben. Ein zweidimensionales grafisches Modell kann z. B. eine Skizze sein und ein Beispiel für ein dreidimensionales grafisches Modell ist ein Hologramm. Grafische Modelle sind also im Gegensatz zu sprachlichen Modellen visuell wahrnehmbar. Die letzte Unterkategorie, die körperlichen Modelle, bezeichnen alle Arten von Modellen, die einen stofflichen Charakter haben, also physisch wahrnehmbar sind. Die Hauptgruppe *„nach dem Zeitbezug“* unterteilt Modelle danach, ob sie zeitabhängig oder zeitunabhängig sind, also dynamisch oder statisch. Die Zeitabhängigkeit des Modells ist mit der Zeitabhängigkeit des Originals korreliert. Verändert sich das Original mit der Zeit, so ist auch sein Modell zeitabhängig, weil es das Original nur für einen bestimmten Zeitpunkt widerspiegelt. Die Einordnung nach dem Modellkontext gibt an, welchem spezifischen Fachbereich das Modell zugeordnet werden kann. Es gibt zum einen Modelle, die dem reinen Ausdruck von Ästhetik und Kunst zuzuschreiben sind, also künstlerische Modelle, aber auch Modelle, die im Kontext der Wissenschaft konstruiert und eingesetzt werden. Bei den wissenschaftlichen Modellen gibt es viele Unterscheidungsmöglichkeiten. Im Rahmen der vorliegenden Klassifizierung wurde in einem ersten Schritt nach real- und formalwissenschaftlichen Modellen unterschieden, die jeweils noch weitere Untergruppen besitzen, auf die jedoch an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll, da die Unterteilung selbsterklärend ist. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Information. So gibt es Modelle, wie z. B. ein Foto, welche rein qualitative Informationen enthalten und Modelle, die rein quantitative Informationen beinhalten. Daneben gibt es aber natürlich auch Modelle, die beide Informationsarten abdecken, die quantitativ-qualitativen Modelle.

Die Art des Originals bezieht sich, wie der Bezeichnung zu entnehmen ist, auf das Original, also den Faktor, der durch das Modell abgebildet oder repräsentiert werden soll. In dieser Rubrik sind Produkt- bzw. Objektmodelle, Prozessmodelle und Verhaltensmodelle zu unterscheiden. Produkt-/Objektmodelle sind relativ selbsterklärend und bezeichnen Modelle, welche die Repräsentation eines Produkts oder allgemeiner eines physischen Objekts darstellen. Prozessmodelle hingegen bilden Vorgänge ab, also etwas nicht Greifbares. Verhaltensmodelle stehen in engem Zusammenhang mit Prozessmodellen, umfassen im Grunde also auch Vorgänge, allerdings explizit solche, die sich auf Subjekte beziehen. Das letzte Merkmal nach dem sich Modelle klassifizieren lassen, ist der bereits thematisierte Modellzweck. An dieser Stelle werden sowohl die in Kapitel 2.2.1 angesprochenen Grund- bzw. Hauptfunktionen relevant, aber auch noch alle weiteren denkbaren spezifischeren Modellfunktionen, wie beispielsweise die Verifikation.

Um die Klassifikation auf ihre Qualität und Zweckmäßigkeit zu testen, sollen nun die zwei Beispiele ‚CAD-Modell‘ und ‚Gemälde‘ einer Einordnung in die jeweiligen Kategorien unterzogen werden. Beginnend mit dem Beispiel eines CAD-Modells ist die erste vorzunehmende Einordnung die nach der Art der Abbildung. CAD-Modelle sind dabei grundsätzlich den grafischen Modellen zuzuordnen. Ob es sich um zwei- oder dreidimensionale grafische Modelle handelt, kommt auf das konkrete Beispiel an. Im Allgemeinen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich bei den meisten CAD-Modellen um dreidimensionale grafische Modelle handelt. Bei der Einordnung nach dem Zeitbezug kommt es auch auf das konkrete Beispiel und die genutzte Software an. Ist die CAD-Software mit einer FEM-Funktion kombiniert, so kann ein CAD-Modell durchaus dynamisch sein. In der Regel kann jedoch davon ausgegangen werden, dass ein CAD-Modell statisch, also zeitunabhängig ist. Der Modellkontext ist bei einem CAD-Modell zweifellos ingenieurwissenschaftlich. Welcher Untergruppe der ingenieurwissenschaftlichen Modelle ein CAD-Modell angehört, ist erneut vom konkreten Beispiel abhängig. Die Art der Information eines CAD-Modells ist in den meisten Fällen sowohl qualitativ als auch quantitativ. Betrachten wir das Beispiel des CAD-Modells eines Autos: dem Modell können dabei mit Sicherheit quantitative Informationen zu den Abmessungen des Autos entnommen werden, aber auch qualitative Informationen in Form des Designs. Das Original wäre in diesem Beispiel ein Produkt. Die Einordnung nach dem Modellzweck lässt sich nicht pauschal beantworten, sondern kann eigentlich nur vom Modellbauer vorgenommen werden. In dem genannten Beispiel sind die wahrscheinlichsten Funktionen die der Gestaltung und Beschreibung. Das Modell könnte aber auch durchaus eine Prognosefunktion haben, wenn wie zuvor erwähnt eine Kombination der CAD-Software mit einer FEM-Funktion vorliegt und damit z. B. das Straßenverhalten des Fahrzeugs simuliert wird.

Bei einem Gemälde ist die Zuordnung zu einer konkreten Ausprägung in den sechs Hauptgruppen unproblematischer und beinahe unabhängig von dem konkreten Inhalt des Gemäldes. Bei einem Gemälde handelt es sich grundsätzlich um ein zweidimensionales grafisches Modell, das zeitunabhängig ist. Der Modellkontext ist künstlerisch und enthält damit in fast allen Fällen rein qualitative Informationen. Das Beinhalten von quantitativen Informationen ist zwar nicht hundertprozentig auszuschließen, weil ein Gemälde durchaus auch maßstabsgetreu sein kann, aber dennoch sehr unwahrscheinlich. Die Art des Originals ist die einzige der Hauptgruppen, bei der die Zuordnung vom konkreten Inhalt des Gemäldes abhängt, sich also keine pauschale Aussage treffen lässt. Die Funktion eines Gemäldes hingegen lässt sich wieder leichter bestimmen. Fast jedes Gemälde dient ausschließlich der Beschreibung.

Letztlich stellt Abbildung 2-4 den Versuch dar, eine möglichst umfassende und nachvollziehbare Klassifikation von Modellen vorzunehmen, die den drei von Friedrichs erwähnten Anforderungen genügt. Es muss jedoch angemerkt werden, dass es aufgrund der unzähligen Möglichkeiten verschiedener Unterscheidungsmerkmale nicht zweckmäßig ist die Forderung nach einer einzigen und richtigen Modellklassifikation zu stellen. Ob eine Klassifikation als ‚gut‘ eingestuft werden kann, ist somit auch sehr stark subjektiv und vom Betrachter abhängig.

Um den Themenblock ‚Modelle und ihre konzeptionellen Grundlagen‘ abzuschließen, sollen nun an dieser Stelle noch einmal die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst werden. Es konnte festgestellt werden, dass trotz der Kritik in der Literatur über eine fehlende einheitliche Definition des Modellbegriffs unbewusste Einigkeit über die Kernaspekte der Definition herrscht. Diese Kernaspekte dienen als Grundlage der für diese Arbeit geltenden allgemeinen Modelldefinition: „Ein Modell ist eine zweckgebundene Repräsentation eines Originals“. Daneben konnten fünf grundlegende Modellmerkmale herausgearbeitet werden. Diese umfassen das abbildende, das pragmatische und das verkürzende Merkmal sowie die Akzentuierung und die Transparenz. In Zusammenhang mit dem verkürzenden Merkmal sind zudem verschiedene Abstraktionsstufen von Modellen möglich. Die Funktionen, die Modelle übernehmen können sind vielfältig und vor allem kontextabhängig. Dennoch lassen sich mit der Beschreibung, der Erklärung und der Prognose drei Hauptfunktionen von Modellen feststellen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Tatsache, dass Modelle nie für sich alleine betrachtet werden können. Sie stehen immer in einem Beziehungsverhältnis zu ihrer Umwelt, die aus dem Modellbauer, dem Original und dem Modellzweck besteht. Weiterhin hat der Entwicklungsversuch einer Modellklassifikation die folgenden sechs Hauptgruppen ergeben: Art der Abbildung, Zeitbezug, Modellkontext, Art der Information, Art des Originals und Modellzweck.

3 Dokumente und ihre konzeptionellen Grundlagen

3.1 Der Dokumentbegriff

Mit dem Begriff ‚*Dokument*‘ verhält es sich ähnlich wie mit dem des ‚*Modell*‘: er wird häufig und in den unterschiedlichsten Zusammenhängen verwendet, ohne dass eine explizite Definition vorliegt. Auch in der Wissenschaft beschäftigen sich nur sehr wenige Autoren mit der Frage, was ein Dokument eigentlich ist. Das hat zur Folge, dass die Suche nach Veröffentlichungen zum Begriff ‚*Dokument*‘ enttäuschend ist und nur zu wenigen Ergebnissen führt [Lun10, S. 740]. Explizite Artikel oder Bücher mit diesem Thema als Kerninhalt sind eine Seltenheit [Lun09, S. 9–1]. Dies mag auch damit zusammenhängen, dass der Begriff ‚*Dokument*‘ auf vielerlei Art und Weise verstanden und interpretiert werden kann [Baw04, S. 243]. Eine genaue Definition gestaltet sich also genauso wie beim Begriff ‚*Modell*‘ äußerst schwierig [Fro09, S. 291]. Frohmann, der sich mit den Arbeiten zu dem Begriff ‚*Dokument*‘ von Buckland auseinandergesetzt hat [Buc97; Buc98], kommt zu dem Schluss, dass die Frage „Was ist ein Dokument?“ weiterhin unbeantwortet bleibt [Fro09, S. 291].

Kapitel 3.1 beschäftigt sich daher mit den Fragen woher der Begriff ‚*Dokuments*‘ ursprünglich stammt und wie er in der bisherigen Literatur definiert wird, um dann eine für diese Arbeit geltende allgemeine Definition abzuleiten.

3.1.1 Etymologische Herkunft

Der Begriff ‚*Dokument*‘ geht auf die zwei lateinischen Wörter ‚*documen*‘ und ‚*documentum*‘ zurück. ‚*Documen*‘ bedeutet dabei die ‚*Lehre*‘ und ‚*documentum*‘ lässt sich mit ‚*Beispiel*‘ oder ‚*Beweisstück*‘ übersetzen [Lun09, S. 9–1; Lun10, S. 742]. Das Wort ‚*documentum*‘ entstammt selbst wieder dem lateinischen Verb ‚*docere*‘, was so viel wie ‚*lehren*‘, ‚*anweisen*‘ oder ‚*darlegen*‘ bedeutet, ergänzt mit dem Suffix ‚*mentum*‘, welches zur Formung von Substantiven, die Handlungen oder Mittel und Ergebnisse von Handlungen bezeichnen, genutzt wird [GKH03, S. 145; Lun10, S. 740ff.].

Es fällt auf, dass die Übersetzung der beiden Herkunftswörter sehr unterschiedlich ist. Diese Tatsache spiegelt sich jedoch auch in der Bedeutung des Begriffs ‚*Dokument*‘ im Laufe der Geschichte wieder, die im folgenden Kapitel behandelt wird. Es kann grundsätzlich festgehalten werden, dass das ursprüngliche Verständnis darüber, was Dokumente sind, eher von dem Wort ‚*documen*‘ abgeleitet ist. Dieses Verständnis hat sich im Laufe der Zeit dann aber weiterentwickelt und verändert, weshalb die heutige Bedeutung eher dem lateinischen Wort ‚*documentum*‘ zugeordnet werden kann.

3.1.2 Dokumentenverständnis im Laufe der Geschichte

Niels Windfield Lund von der University of Tromsø in Norwegen hat sich eingehend mit der Frage beschäftigt was Dokumente sind und dabei sein Augenmerk auch auf deren Bedeutung im Laufe der Geschichte gelegt [Lun09; Lun10]. Seine Ausführungen sollen im Rahmen dieser Arbeit dazu dienen ein besseres Verständnis für den Begriff des ‚Dokument‘ zu bekommen und auch als Grundlage zur Definitionsentwicklung in Kapitel 3.1.3 dienen.

Von Beginn des 13. Jahrhunderts bis hin zum 17. Jahrhundert wurde der Begriff ‚Dokument‘ vor allem im Zusammenhang mit der Lehre verwendet. Ein Dokument war eine Vorlesung, eine Demonstration oder eine Instruktion. Bei einem Dokument handelte es sich also nicht zwangsweise um geschriebenen Text oder allgemein physisch greifbare Information. Auch verbale Äußerungen konnten Dokumente sein. Obgleich dieses Verständnis eines Dokuments in der heutigen Zeit und im allgemeinen Denken nicht mehr ganz nachvollziehbar ist, so bildet es doch den Ursprung unseres heutigen Dokumentbegriffs.

Erst im 17. Jahrhundert hat sich das Verständnis des Begriffs im Zuge der aufkommenden Bürokratie verändert und zwar in Richtung einer rechtlichen Bedeutung. Unter Dokumenten wurden ab diesem Zeitpunkt vor allem geschriebene Texte verstanden, die Fakten enthalten, rechtliche Bedeutung haben können und in gewisser Weise auch als Nachweis für etwas dienen.

Dieses Verständnis hat sich im 18. Jahrhundert und im Rahmen der europäischen Moderne weiter gefestigt. Dokumente standen hauptsächlich in Zusammenhang mit Transaktionen, Vereinbarungen und Entscheidungen, die schriftlich festgehalten wurden, also Dokumente im Sinne von Verträgen. Eng verknüpft damit war auch die Frage nach der Echtheit von Dokumenten, da sie als Beweis oder Nachweis rechtliche Bedeutung hatten. Daneben waren Dokumente aber auch einfach eine schriftliche Informationsquelle. Lund fasst diese drei Aspekte eines Dokuments im 18. Jahrhundert sehr treffend zusammen: “written, true knowledge“ [Lun09, S. 9–3].

Im Laufe des 19. Jahrhunderts rückte immer mehr die Dokumentation und nicht das Dokument ins Zentrum der Betrachtung. Dokumentation war ein Kernbegriff in Administrationsprozessen, aber auch in der Wissenschaft. Forscher wurden dazu angehalten die Herkunft ihres Wissens zu dokumentieren und nachzuweisen. Die Güte von wissenschaftlichen Arbeiten wurde ab diesem Zeitpunkt auch anhand ihrer Wissensdokumentation gemessen und nicht mehr allein an logischen Schlussfolgerungen und Argumenten. Daneben hatte die Dokumentation aber auch einen hohen Stellenwert im Bibliothekswesen. Anfang des 20. Jahrhundert hat sich die Dokumentation mit Fokus auf das Bibliothekswesen sogar zu einer eigenen Wissenschaft entwickelt, u. a. begründet durch Paul Otlet und Suzanne Briet.

Gegen Ende des 20. und zu Beginn des 21. Jahrhundert hat sich das Verständnis im Zuge der Computer- und Informationstechnologie stark verändert. Die digitale Welt hat auch den digitalen Dokumentbegriff ins Leben gerufen, der ebenso wenig definiert ist wie der des ursprünglichen Dokuments. So hat auch Buckland seine Arbeit "What is a ,document'?" weiterentwickelt und sich die Frage gestellt "What is a ,digital document'?" [Buc97; Buc98]. Nach dem kurzen Überblick über das Dokumentverständnis im Laufe der Geschichte, soll nun folgend in Kapitel 3.1.3 eine Definition des Begriffs erarbeitet werden.

3.1.3 Definition

Gleichwohl es wie bereits erwähnt bis heute nicht ,die eine' Definition von Dokumenten gibt, so haben dennoch bereits einige Wissenschaftler versucht eine allgemeine Definition zu entwickeln. Aus diesem Grund soll Tabelle 3-1 an dieser Stelle, ähnlich dem Kapitel 2.1.2, einen ersten Überblick über verschiedene bereits existierende Dokumentdefinitionen geben. Grundlage zur Entwicklung der für diese Arbeit geltenden allgemeinen Dokumentdefinition ist aber auch hier die vollständige Tabelle in Anhang C.

Bereits auf den ersten Blick lässt sich erkennen, dass die Definitionen sehr unterschiedlich sind. Sie unterscheiden sich teilweise nicht nur extrem im Umfang, sondern haben auch inhaltlich je nach Vergleich nur sehr wenig bis nichts gemeinsam. Einige der Autoren definieren Dokumente äußerst allgemein als Aufzeichnung von Gedanken oder Ideen ohne weitere Spezifizierungen vorzunehmen [vgl. (4),(8),(13)]². Buckland und Shillingsburg betonen in ihrer Definition, dass die Aufzeichnung in Form von Text vorliegen muss, damit es sich um ein Dokument handelt [(9),(10)]. Wieder andere sprechen explizit den Beweischarakter eines Dokuments, der auch schon im Laufe der Geschichte von besonderer Bedeutung war, an [vgl. (1),(2)]. Die meisten der Autoren verstehen unter Dokumenten jedoch eine auf einem Medium aufgezeichnete Menge von Informationen [vgl. (6),(14),(17)]. Schaut man sich an, was Menschen im Alltagsleben unter Dokumenten verstehen, dann werden als Beispiele oft sofort Ausweise, Verträge oder Urkunden genannt. Das deutet darauf hin, dass das Alltagsverständnis eines Dokuments zum einen den Beweis- bzw. Nachweischarakter umfasst, da die genannten Beispiele zweifellos zum Nachweis konkreter Sachverhalte oder Tatsachen dienen, zum anderen aber auch die Form eines Schriftstücks.

² Die Zahlen in den runden Klammern entsprechen den jeweiligen Definitionen derselben Nummer in Tabelle 3-1

Tabelle 3-1: Ausschnitt verschiedener Dokumentdefinitionen aus Anhang C

Nr.	Definition	Quelle
(1)	"Thing, esp. deed, writing, or inscription, that furnishes evidence."	[FF19, S. 244]
(2)	« Un document est une preuve à l'appui d'un fait. » ³	[Bri51, S. 7]
(4)	"[A document is an] embodied thought."	[Ran63, S. 29]
(6)	"any document is a unit containing some representation of information with potential meaning and use."	[Sch96, S. 671]
(8)	"A document is the repository of an expressed thought."	[Buc97, S. 806]
(9)	"Ordinarily the word "document" denotes a textual record."	[Buc97, S. 804]
(10)	"The word document can be used to refer to the physical vehicle of the linguistic text."	[Shi00, S. 73]
(11)	« Un document est un porteur ou un contenant d'information. » ⁴	[GV01, S. 16]
(12)	„festgelegte und strukturierte Menge von Informationen, die als Einheit verwaltet und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden kann.“	[EN02, S. 8]
(13)	"a 'document' is some physical thing which records thoughts or ideas".	[Baw04, S. 243]
(14)	„Aufgezeichnete Information oder Informationsträger, die/der in einem Dokumentationsprozess als Einheit gehandhabt wird.“	[VDI06, S. 39]
(15)	„Dokument ist eine materielle Unterlage/Beleg (gegenständlich) bzw. Datei (elektronisch) mit strukturierten, zusammengehörigen Aufzeichnungen/Informationen über ein Projekt bzw. Objekt.“	[Web08, S. 12]
(16)	"any results of human efforts to tell, instruct, demonstrate, teach or produce a play, in short to document, by using some means in some ways."	[Lun10, S. 743]
(17)	„jegliches Medium, auf oder in dem Informationen aufgezeichnet sind.“	[ISO12, S. 72]
(20)	„Ein Dokument ist die Einheit von Datenträger und auf ihm fixierten Daten, die geeignet ist, in den Dokumentationsprozess einzugehen.“	[Dah16, S. 196]
(21)	„Informationsträger mit auf oder in ihm aufgezeichneten Informationen.“	[ISO17, S. 7]

³ „Ein Dokument ist ein Beweis zum Beleg einer Tatsache.“ (Übersetzung des Verfassers)

⁴ „Ein Dokument ist ein Träger oder ein Behältnis von Information.“ (Übersetzung des Verfassers)

Die Begrenzung von Dokumenten auf Schriftstücke in Form von Papier muss jedoch als kritisch angesehen werden, denn es sind auch andere Medien (z. B. ein Tonträger) denkbar, welche die Merkmale eines Dokuments erfüllen [Buc91, S. 353; Rie95, S. 13]. Daneben schließt auch die unbestreitbare Existenz von digitalen Dokumenten diese Begrenzung aus, so dass die Definitionen, die Dokumente als auf einem Medium aufgezeichnete Information deklarieren, einen ersten guten Ansatz darstellen.

Dennoch sind diese Definitionen aufgrund ihrer Allgemeinheit unzureichend. Ohne weitere Spezifikation der Definition könnte jegliche auf irgendeine Art und Weise aufgezeichnete Information ein Dokument sein. Aus diesem Grund soll in der für diese Arbeit geltenden Definition zum einen indirekt der Beweis- bzw. Nachweischarakter und zum anderen auch eine sehr wichtige Funktion von Dokumenten, die Informationsspeicherung bzw. -aufbewahrung, mitaufgenommen werden. Auch wenn die Merkmale und Funktionen von Dokumenten erst in Kapitel 3.2.1 behandelt werden, ist der thematische Vorgriff für die Entwicklung einer adäquaten Definition an dieser Stelle von Bedeutung. Die indirekte Aufnahme des Beweis- bzw. Nachweischarakters erfolgt über die Spezifizierung der im Dokument enthaltenen Information. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass Informationen, die als Nachweis oder auch Beweis von bestimmten Sachverhalten und Tatbeständen dienen, wichtige Informationen sind. Zieht man weiterhin die Assoziation von Dokumenten mit Urkunden, Verträgen und Ausweisen hinzu, dann ist die Information oft sogar von rechtlicher Relevanz. Die Aufnahme der Dokumentenfunktion soll über die Spezifizierung des Informationsträgers vorgenommen werden, denn aus der Funktion der Speicherung und Lagerung von Informationen, folgt letztlich die Notwendigkeit der Eignung des Informationsträgers zur langfristigen bis hin zur dauerhaften Aufbewahrung.

Die Ergänzung der bisher in der Literatur verbreiteten Definition von Dokumenten als auf einem Informationsträger aufgezeichnete Information um die zwei gerade angesprochenen Aspekte, liefert die für diese Arbeit geltende allgemeine Dokumentdefinition, die wie folgt lautet:

Ein Dokument ist auf einem zur langfristigen Aufbewahrung geeigneten Medium aufgezeichnete, bedeutsame und/oder rechtlich relevante Information.

3.2 Das Dokument

Nach der Festlegung auf eine allgemeine Definition des Begriffs ‚*Dokument*‘ in Kapitel 3.1.3, sollen im Rahmen von Kapitel 3.2.1 nun zunächst die Merkmale von Dokumenten analysiert und anschließend erklärt werden, welche Funktionen sie erfüllen können. Kapitel 3.2.2 schließt dann mit dem Versuch einer Klassifizierung von Dokumenten den Themenblock ‚*Dokumente und ihre konzeptionellen Grundlagen*‘ ab.

3.2.1 Merkmale und Funktionen

Welche Merkmale Dokumente auszeichnen, ist eine in der Literatur fast unbeantwortete Frage. Nur wenige Autoren haben sich bisher intensiv genug mit dem Dokumentbegriff befasst, um Merkmale herausarbeiten zu können. Einer von Ihnen ist Buckland, der bei der Analyse der Arbeiten von Suzanne Briet vier Merkmale von Dokumenten feststellen konnte [Buc97, S. 806]:

- Materialität
- Intentionalität
- Anfertigungsabsicht
- Wahrnehmung

Die Materialität beschreibt nach Buckland die physische Beschaffenheit von Dokumenten. Dokumente sind also nach seiner Auffassung immer physische Objekte [Buc97, S. 806]. In diesem Zusammenhang kann man sich jedoch die Frage stellen, ob dieses Merkmal auch im Hinblick auf digitale Dokumente gilt. Die erste intuitive Antwort auf diese Frage ist wahrscheinlich „Nein“. Bei tiefergehender Betrachtung muss diese Antwort allerdings noch einmal überdacht werden, denn auch wenn die im Dokument enthaltene Information digital ist, so ist diese wiederum auf einem physischen Informationsträger in Form der Festplatte gespeichert [Buc16, S. 1]. Dieser Aspekt ist enorm wichtig, da ein Dokument nach der hier geltenden Definition eben nicht nur die Information darstellt, sondern immer die Information mit dem ihr zugehörigen Informationsträger [Dah16, S. 196]. Somit liegt ein Dokument aufgrund seines Trägermediums immer in physischer Form vor, selbst wenn die darin enthaltene Information nur digital ausgelesen werden kann.

Im Zusammenhang mit dem Merkmal der Materialität soll an dieser Stelle auch auf ein weiteres Merkmal von Dokumenten eingegangen werden, das sich bereits aus der Definition ergibt: ein Dokument liegt aufgrund seines Informationsträgers nicht nur immer in physischer Form vor, sondern dieser Informationsträger muss zusätzlich zur dauerhaften Aufbewahrung geeignet sein [Lev94, S. 25], um die Funktion einer langfristigen Informationsspeicherung erfüllen zu können. Informationsträger ist z. B. bei einem klassischen Schriftstück aber nicht nur das Papier, sondern auch die Tinte mit der die Information geschrieben ist. Das bedeutet, dass auch diese die Eignung zur dauerhaften Aufbewahrung

erfüllen muss, weshalb Dokumente auch nur mit ‚*dokumentenechten*‘ Stiften verfasst werden sollten. Allerdings steht die Wahl des korrekten Schreibwerkzeugs für Dokumente nicht ausschließlich in Verbindung zur dauerhaften Aufbewahrung, sondern ist auch im Hinblick auf das nächste Merkmal und damit der Echtheit und Fälschbarkeit von Dokumenten relevant.

Denn das zweite Merkmal nach Buckland ist die Intentionalität. Durch die Aussage, dass Dokumente immer mit der Intention erstellt werden, später als Nachweis für etwas zu dienen [Buc97, S. 806], erfasst er im Grunde den zuvor bereits angesprochenen Beweis- bzw. Nachweischarakter eines Dokuments. Dieser Punkt spiegelt gewissermaßen auch schon eine Funktion von Dokumenten bzw. einen Grund ihrer Erstellung wieder. Allerdings ist die Bezeichnung des Merkmals mit ‚*Intentionalität*‘ vieldeutig und lässt nicht direkt auf die intendierte Bedeutung schließen, weshalb dieses Merkmal an dieser Stelle zu ‚*Authentizität*‘ umbenannt werden soll. ‚*Authentizität*‘ deshalb, weil die Echtheit und Glaubwürdigkeit in Zusammenhang mit einer Nachweisfunktion unabdingbar ist [DIN13, S. 7] und vor allem bei digitalen Dokumenten wegen der relativ leichten Manipulierbarkeit problematisch sein kann [Sch96, S. 669].

Das dritte Merkmal ist die Anfertigungsabsicht. Das bedeutet, dass Dokumente ganz bewusst erstellt werden müssen und nicht zufällig auftauchen [Buc97, S. 806]. Im Umkehrschluss ist eine zufällige Informationsaufzeichnung kein Dokument, weil es nicht mit Absicht erstellt wurde. Dieses Merkmal ist im Grunde logisch und ähnelt dem des Pragmatismus von Modellen, da Absicht im Allgemeinen eine Zweckverfolgung widerspiegelt, weshalb es auch für Dokumente mit ‚*Pragmatismus*‘ bezeichnet werden soll.

Das vierte und letzte Merkmal, dass Buckland nennt, ist die Wahrnehmung. Das Merkmal besagt, dass Dokumente nur dann Dokumente sind, wenn sie auch als solche wahrgenommen werden [Buc97, S. 806; Buc16, S. 2]. Dieses Merkmal muss allerdings sehr kritisch betrachtet werden, da die Aussage eine phänomenologische Position widerspiegelt, also eine philosophische Komponente beinhaltet, der es an jedweder logischen Begründung mangelt. Da Merkmale zudem grundsätzlich objektiv feststellbar sein sollten, soll die ‚*Wahrnehmung*‘ als Dokumentenmerkmal im Rahmen dieser Arbeit ausgeschlossen werden.

Neben diesen eher allgemeinen Merkmalen von Dokumenten, lassen sich der Literatur auch Merkmale entnehmen, die den konkreten Aufbau und Inhalt von Dokumenten betreffen. Sie befassen sich also mit der genauen Struktur eines Dokuments, die im Gegensatz zu der von Modellen oft, jedoch nicht immer⁵, standardisiert ist.

⁵ Formalwissenschaftliche Modelle stellen hier eine Ausnahme da: wichtige Programmiersprachen, Kernelement informatischer Modelle, sind z. B. immer standardisiert [Kle09, S. 240].

Die Vielfalt von verschiedenen Erscheinungsformen ist also bei Dokumenten generell eher geringer als bei Modellen. Aus DIN 6789 geht beispielsweise hervor, dass Dokumente grundsätzlich zwei Arten von Daten⁶ bzw. Informationen beinhalten [DIN13, S. 6]:

- Verwaltungs- bzw. Stammdaten
- Inhaltsdaten

Die Verwaltungsdaten stellen eine Art Sekundärinformation dar und werden auch als Metadaten bezeichnet [EN02, S. 10]. Sie beziehen sich rein auf die Verwaltung von Dokumenten und umfassen Informationen, die zur eindeutigen Identifizierung des Dokuments dienen [DIN13, S. 7]. Unter solche Metadaten fallen z. B. Angaben zum Autor oder die Dokumentenversion. Die Inhaltsdaten eines Dokuments sind selbsterklärend und bezeichnen den eigentlichen Kerninhalt bzw. die Thematik des Dokuments. Während sich die Merkmale nach DIN 6789 eher auf inhaltliche Aspekte eines Dokuments beziehen, betreffen die Merkmale von Rieger in Abbildung 3-1 eher den formalen Aufbau von Dokumenten [Rie95, S. 12f.].

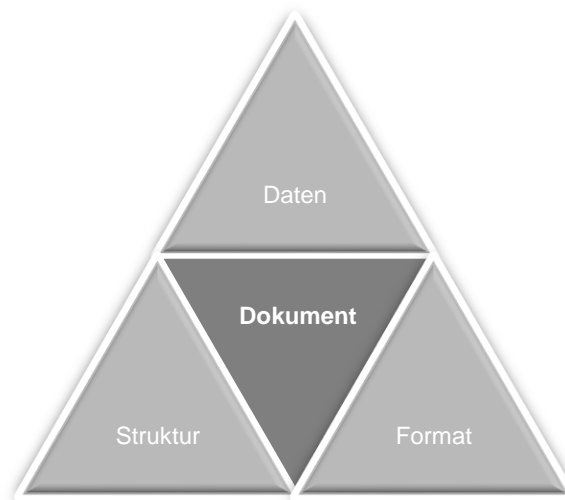


Abbildung 3-1: Aufbau eines Dokuments [Rie95, S. 14]

Mit Daten bezeichnet Rieger den Inhalt des Dokuments, also die vom Dokument transportierte Information [Rie95, S. 13]. Bei diesem Merkmal lässt sich eine Verbindung zu DIN 6789 herstellen, indem man Verwaltungs- und Inhaltsdaten als weitere Aufsplittung der Gesamtdaten betrachtet, denn auch die Metadaten stellen vom Dokument transportierte Informationen dar.

⁶ Daten sind Fakten über ein Objekt und Daten mit Bedeutung stellen wiederum Informationen dar [ISO15, S. 46]

Die Struktur eines Dokuments bilden alle Elemente, die das Auffinden und Verarbeiten der enthaltenen Information auf irgendeine Art und Weise vereinfachen und die Beziehung verschiedener Daten zueinander darstellen [DRR97, S. 1078; Rie95, S. 13]. In einem Textdokument wären solche Elemente beispielsweise eine Gliederung oder Querverweise im Text zu anderen Passagen, bei einer Tonaufzeichnung könnten beispielsweise Pausen eine thematische Trennung der Information verdeutlichen.

Das letzte Merkmal der Formatierung steht in engem Zusammenhang mit der Struktur und macht diese überhaupt erst wahrnehmbar. Die Formatierung umfasst alle sinnlich wahrnehmbaren Elemente des Dokuments [Rie95, S. 13]. Um auch hier bei dem Beispiel des Textdokuments zu bleiben, so handelt es sich z. B. bei Hervorhebungen wie der Kursivschrift oder dem Fettdruck um Formatierungen, aber auch Trennlinien oder ähnliche Elemente gehören zu den formatierenden Elementen [DRR97, S. 1078]. Bei dem Beispiel des Tonträgers wäre die zuvor genannte Pause zwischen zwei thematisch unabhängigen Informationen zugleich Struktur und Formatierung. Letztlich „erleichtert also die Strukturierung von Dokumenten das Erfassen des Informationsgehalts, die Formatierung wiederum erleichtert uns die Wahrnehmung der Struktur“ [Rie95, S. 14].

Zur zusammenfassenden und übersichtlichen Darstellung der genannten Merkmale von Dokumenten soll Abbildung 3-2 dienen. Es ist ersichtlich, dass Dokumente aus den zwei Bestandteilen ‚*Information*‘ und ‚*Medium*‘ zusammengesetzt sind, wie es auch schon aus der Definition hervorgeht. Daneben ist ein Dokument durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet, die sich entweder auf die Kombination der Bestandteile oder auf einzelne Bestandteile beziehen können und zudem verschiedene Ebenen betreffen. So muss ein Dokument in seiner Gesamtheit authentisch und pragmatisch sein, d. h. es muss zum einen glaubhaft und unverfälscht sein, um dadurch als Nachweis dienen zu können und zum anderen muss es zu der Verfolgung eines bestimmten Zwecks bewusst erstellt worden sein. Das Medium auf dem die Informationen aufgezeichnet sind muss das Merkmal der Materialität erfüllen, es muss also ein physisch greifbares Objekt und für die langfristige Aufbewahrung geeignet sein. Die Information selbst muss auf der formalen Ebene die Merkmale der Strukturierung und der Formatierung erfüllen. Strukturierung bedeutet, dass Elemente vorhanden sein müssen, die das Verarbeiten der Information erleichtern. Formatierung heißt, dass die Strukturierung durch sinnlich wahrnehmbare Aspekte erkennbar wird. Auf der rein inhaltlichen Ebene ist ein Dokument immer durch zwei verschiedene Sorten von Daten gekennzeichnet: die Verwaltungs- und die Inhaltsdaten. Die Verwaltungsdaten sind Sekundärinformationen über das Dokument selbst und geben beispielsweise Auskunft über den Autor. Bei den Inhaltsdaten handelt es sich um den Kerninhalt des Dokuments, also die Information, die zur Aufzeichnung bestimmt ist.

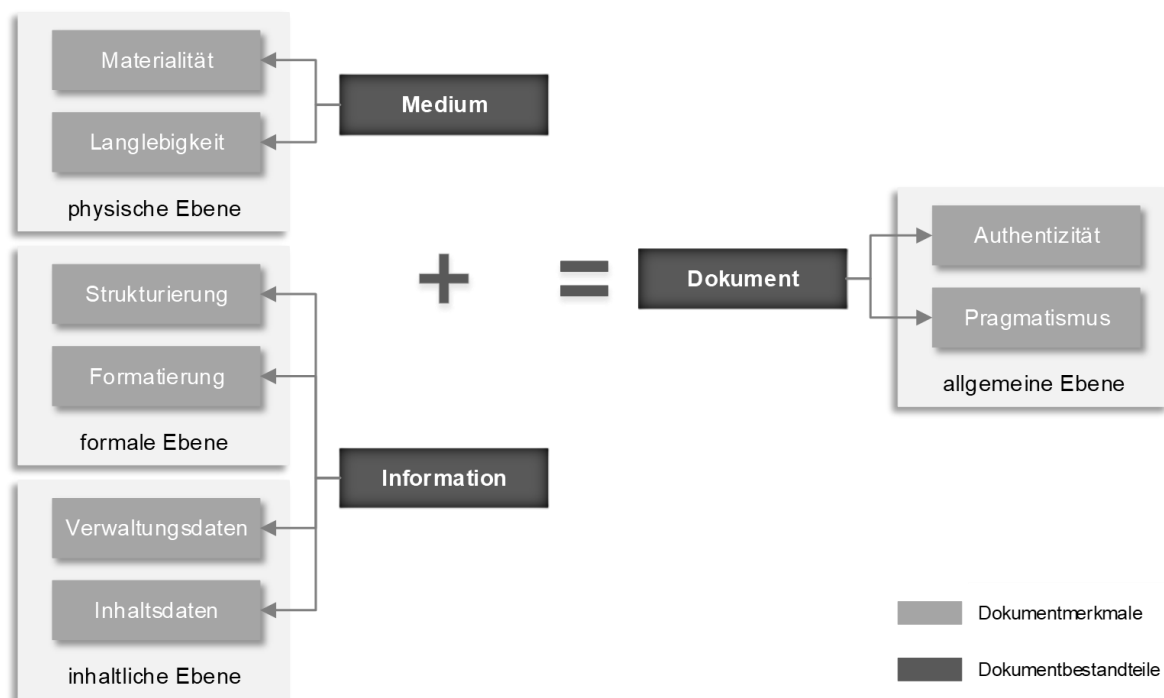


Abbildung 3-2: Allgemeine Dokumentmerkmale (in Anlehnung an [Buc97, S. 806; DIN13, S. 6; Rie95, S. 14])

Nach der Erläuterung der Merkmale eines Dokuments sollen nun die konkreten Funktionen von Dokumenten analysiert werden. Eine Funktion, die wohl als Kernfunktion eines jeden Dokuments betrachtet werden kann, ergibt sich aus der Dokumentdefinition: die **Speicherung bzw. Sicherung von Informationen** [DRR97, S. 1077]. Durch die Dokumentation soll also erreicht werden, dass beispielsweise neu erlangtes Wissen oder neue Erkenntnisse dauerhaft zugänglich sind und das gleichzeitig unabhängig von der Person oder den Personen, die ursprünglich über diese Informationen verfügen. Levy begründet diese Funktion von Dokumenten mit dem Wunsch der Menschheit nach Stabilität und Sicherheit in sich einer verändernden Welt [Lev94, S. 25].

Aus der durch Dokumente ermöglichten Sicherheit und der Stabilität von Informationen ergibt sich eine weitere Funktion, nämlich die der **Informationsverbreitung**. Dokumente sind also generell auch dafür gedacht Informationen von einer Person zu einer anderen weiterzureichen und das möglichst unverfälscht [DRR97, S. 1077; Lev94, S. 25]. Besonders der Aspekt der *unverfälschten*⁷ Informationsverbreitung wird nur durch die Aufzeichnung ermöglicht und wäre bei einer rein mündlichen Informationseitergabe niemals zu hundert Prozent gewährleisten.

⁷ Unverfälscht in Bezug zum Erinnerungsvermögens eines Menschen und nicht bezogen auf die bewusste Veränderung oder den bewussten Vorenthalt von Information.

Neben der Informationssicherung und -verbreitung haben Dokumente auch eine **Nachweis- bzw. Beweisfunktion**. Diese Funktion hat sich maßgeblich aus der Beständigkeit der ersten Dokumente, also Dokumenten in Form von mit Tinte auf ein Papier geschriebener Information entwickelt. Aufgrund der Beständigkeit dieser Form eines Dokuments wurden sie als Beweis bzw. Tatsache akzeptiert, unabhängig von der Möglichkeit, dass auch solche Dokumente bewusst gefälscht werden können [LHS12, S. 1901]. Bis heute haben Dokumente grundsätzlich ihre Akzeptanz als Nachweisobjekt nicht verloren, allerdings spielt die Echtheit eines Dokuments dabei eine entscheidende Rolle. Ein Punkt, der sich besonders daran zeigt, dass die leichte Manipulierbarkeit von digitalen Dokumenten oft kritisiert wird [Sch96, S. 669]. Daneben zeigt sich die von der Echtheit abhängige Rolle von Dokumenten als Nachweisobjekt aber auch daran, dass die bewusste Fälschung von Dokumenten je nach konkreter Art des Dokuments sogar rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen kann (z. B. Urkundenfälschung §267 StGB).

Eine weitere Funktion ergibt sich direkt aus den formalen Merkmalen eines Dokuments: die **Informationsstrukturierung**. Auch wenn diese Funktion in der Literatur nicht explizit genannt wird, so lässt sie sich daran ableiten, dass Dokumente ihre enthaltenen Informationen in der Regel nicht unsortiert oder durcheinander wiedergeben, sondern in einer nachvollziehbaren, logischen Anordnung. Diese Funktion ist vor allem im Hinblick auf die Informationsmenge relevant. Je mehr Informationen ein Dokument enthält, desto wichtiger ist die Strukturierung dieser Informationen um durch das Dokument einen Mehrwert zu erlangen. Mit der Informationsmenge eng verknüpft ist auch die Funktion der **Informationsverwaltung**, die Dokumente vor allem aufgrund ihrer Metadaten enorm erleichtern kann. Anhand ihrer Metadaten lassen sich Dokumente und damit auch Informationen leicht ordnen oder kategorisieren, wodurch es einfacher ist den Überblick über eine große Menge an Informationen zu behalten. Diese Funktion ist vor allem in der heutigen Zeit und ihrem durch die Informationstechnologie vorangetriebenen Informationsüberfluss enorm ins Zentrum gerückt, was sich z. B. an der Menge von Büchern über das Dokumentenmanagement zeigt.

3.2.2 Dokumentklassifikation

In den vorherigen Kapiteln wurde bereits erwähnt, dass es sich bei Dokumenten nicht zwangsweise um Schriftstücke handeln muss, sondern auch anderweitig aufgezeichnete Information ein Dokument sein kann, sofern die allgemeinen Dokumentenmerkmale erfüllt werden [Buc91, S. 353]. Folglich muss es verschiedene Arten von Dokumenten geben, die sich nach bestimmten Merkmalen klassifizieren lassen.

Im Gegensatz zu Modellen, sind Klassifikationen von Dokumenten in der Literatur weniger verbreitet. Zwar nehmen viele Autoren kleine Unterteilungen von Dokumenten vor, wie z. B. in analoge und digitale Dokumente [Dah16, S. 195], eine umfangreiche und vor allem allgemeine Klassifikation ist jedoch eher selten. Oft sind existierende Klassifikation sehr kontextspezifisch wie beispielsweise Klassifizierungen für das Bibliothekswesen. Eine relativ umfangreiche und allgemeine, aber auch schon sehr alte Dokumentenklassifikation stammt von Ranganathan (siehe Abbildung 3-3) [Ran63, S. 27].

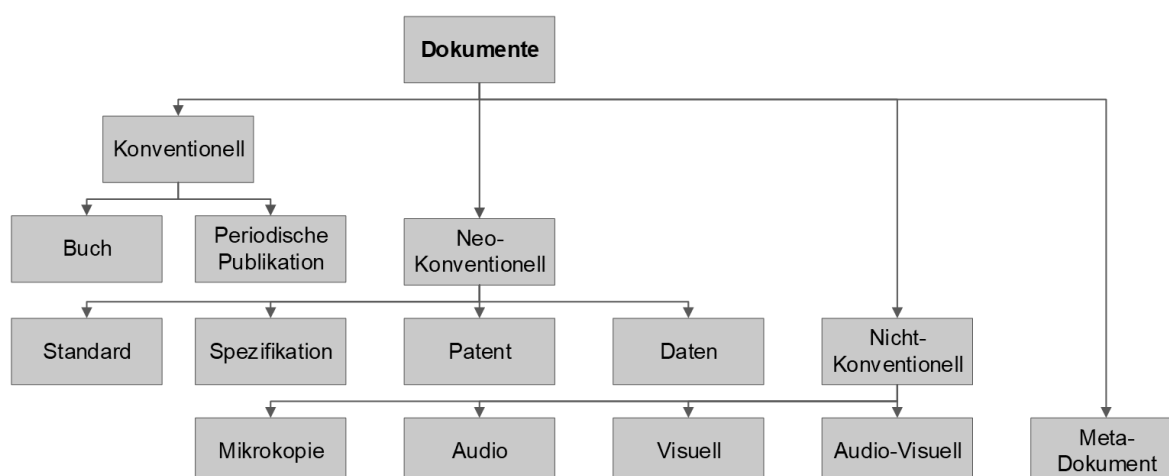


Abbildung 3-3: Dokumentklassifikation nach Ranganathan [Ran63, S. 27]

Ranganathan unterteilt Dokumente in konventionelle, neo-konventionelle, nicht-konventionelle und Meta-Dokumente. Konventionell bedeutet für ihn, dass die Informationen in einer natürlichen Sprache aufgezeichnet sind. Sein Verständnis des Ausdrucks ‚neo-konventionell‘ geht aus seinen Ausführungen nicht hervor. Der Einteilung lässt sich lediglich entnehmen, dass er Dokumente, die der Wissenschaft, Forschung oder Entwicklung entstammen, als neo-konventionell einstuft. Bereits an dieser Stelle verletzt die Klassifikation von Ranganathan aber schon die Anforderungen nach Friedrichs [Fri90, S. 88f.], die in Kapitel 2.2.3 angeführt wurden. Konkret wird die Anforderung der Eindeutigkeit verletzt, da z. B. einem Patent kein Merkmal der Gruppe der konventionellen Dokumente zugeordnet werden kann, denn ein Patent ist weder ein Buch, noch eine periodische Publikation. Aufgrund der Verletzung der Eindeutigkeitsanforderung muss die Klassifikation von Ranganathan als ungeeignet eingestuft werden. Dennoch stellt sie eine gute Grundlage zur Entwicklung einer geeigneten Dokumentklassifikation dar, die Ziel dieses Kapitels ist. Neben der Klassifikation von Ranganathan werden daneben weitere kleinere Unterscheidungen von Dokumenten anderer Autoren herangezogen, um die Entwicklung einer geeigneten Dokumentklassifikation zu verwirklichen.

Dahlberg unterscheidet in einer ihrer Arbeiten z. B. zwischen analogen und digitalen Dokumenten [Dah16, S. 195]. Digitale Dokumente unterscheiden sich von analogen Dokumenten durch die Form in der die enthaltenen Informationen aufgezeichnet sind. Digital bedeutet, dass die gespeicherten Informationen abstrahiert und als binäre Signale codiert sind [FH08, S. 228], wodurch es nur mit Hilfe technischer bzw. elektronischer Hilfsmittel möglich ist die Informationen wahrzunehmen. Die Information digitaler Dokumente ist also im Gegensatz zu der von analogen Dokumenten für den Menschen nicht direkt wahrnehmbar [Liu04, S. 280].

Weiterhin lässt sich ein Dokument danach unterscheiden, ob es sich bei dem konkreten Exemplar um das Original oder eine Kopie handelt. Zweifellos spielt dieser Aspekt vor allem in Bezug zu der Funktion als Nachweisobjekt eine wichtige Rolle. „Eine Dokumentenkopie ist eine genaue oder annähernd genaue Kopie eines Originaldokumentes“ [ISO06, S. 7]. Eine Kopie muss also nicht exakt mit dem Original übereinstimmen, sondern kann Informationen verlieren. Inwiefern Kopie und Original übereinstimmen, wird dabei durch die Originaltreue der Kopie bestimmt [ISO06, S. 7].

In EN 82045-1 wird eine Unterteilung von Dokumenten nach dem Informationsträger unternommen und papier- sowie rechnerbasierte Dokumente unterschieden [EN02, S. 10]. Rechnerbasiert ist an dieser Stelle was die Bezeichnung anbelangt nicht ganz korrekt, da das eigentliche Medium in diesem Fall lediglich die Festplatte des Rechners ist, die auch ohne diesen existiert. Grundsätzlich sind aber bei dieser Form der Unterteilung natürlich auch noch weitere Informationsträger denkbar.

In Anlehnung an Ranganathan kann danach unterschieden werden, welche Erscheinungsform die Information hat, ob es sich also z. B. rein um Schrift handelt oder Grafiken [Ran63, S. 27]. Dokumente, die mehrere Erscheinungsformen der Informationen kombinieren, also beispielsweise Schriftstücke, die daneben auch Bilder enthalten, nennt man auch Multimedia-Dokumente [Rie95, S. 13].

Guzman und Verstappen unterscheiden weiterhin danach, ob ein Dokument veröffentlicht oder unveröffentlicht ist [GV01, S. 16]. In Zusammenhang mit unveröffentlichten Dokumenten wäre auch eine weitere Untergliederung hinsichtlich einer Verfügungsrestriktion denkbar. Also eine Unterscheidung nach dem Schutz- oder Geheimhaltungsstatus eines Dokuments. Ein Beispiel dafür wäre ein geheimes Dokument, das nur von einem ganz bestimmten und begrenzten Personenkreis eingesehen werden kann, weil es Informationen enthält, die der Geheimhaltung bedürfen [Ran63, S. 31].

Auch das Ziel oder die Absicht der Information kann ein Unterscheidungskriterium sein. So differenzieren Doermann und Rosenfeld danach, ob ein Dokument rein informativ, anweisend oder identifizierend ist [DRR97, S. 1077]. Ein rein informatives Dokument liefert lediglich Fakten ohne dabei ein tieferliegendes Ziel zu verfolgen. Ein anweisendes oder auch lehrendes Dokument zielt namentlich darauf ab den Rezipienten anzuweisen, zu unterweisen bzw. zu lehren. Ein Beispiel für ein anweisendes Dokument ist eine Bedienungsanleitung. Identifizierende Dokumente haben es, wie auch hier der Name schon verrät, zur Absicht etwas oder jemanden eindeutig zu identifizieren. Ein einfaches Beispiel hierfür wäre der Personalausweis oder Reisepass.

Als letztes Unterscheidungsmerkmal soll der Kontext des Dokuments genannt werden. Hierbei sind viele unterschiedliche Ausprägungen denkbar. Ein Dokument kann beispielsweise persönlich bzw. privat oder auch rein geschäftlich sein.

Abbildung 3-4 zeigt zusammenfassend das Ergebnis des Versuchs einer umfassenden Klassifizierung von Dokumenten. Um die Klassifikation auf ihre Qualität und Zweckmäßigkeit zu testen, sollen nun das Beispiel ‚*Personalausweis*‘ einer Einordnung in die jeweiligen Kategorien unterzogen werden. Das Medium, auf dem die Informationen eines Personalausweises aufgezeichnet sind, ist eine Chipkarte. Die Chipkarte ist dabei besonders interessant, weil sie nicht als ein einziges Medium betrachtet werden kann, sondern eigentlich die Kombination zweier verschiedener Medien ist. Sie setzt sich aus einer Kunststoffkarte und einem Mikrochip, also einem elektronischen Speicher zusammen, die jeweils für sich Informationen enthalten. Im Grunde könnte man an dieser Stelle darüber streiten, ob die Gesamtheit eines Personalausweises überhaupt als ein Dokument betrachtet werden kann oder ob die einzelnen Bestandteile jeweils separate Dokumente sind. Auch im Hinblick auf die Anforderungen an eine Klassifizierung ist diese Frage relevant, da diese verletzt würden, wenn die Kombination der Bestandteile als ein einziges Dokument betrachtet wird. Denn dann könnten dem Dokument in der Kategorie ‚*Medium*‘ mehrere Merkmale zugeordnet werden, einmal das Medium Kunststoff und das Medium des elektronischen Speichers. Aus diesem Grund *muss* ein Personalausweis als zusammengesetztes Dokument, also als „das Ergebnis der Zusammenführung von mehr als einer Dokumentenart“ erachtet werden [EN02, S. 11]. Eine Klassifizierung ist also folglich nur für jeweils einen der Bestandteile sinnvoll, da nur so gewährleistet wird, dass die Anforderungen an eine Klassifikation nicht verletzt werden. Deshalb beschränkt sich die Fortführung des Beispiels auf den Teil des Personalausweises, der auf dem Medium Kunststoff aufgezeichnet ist. Da die Informationen dieses Teils für den Menschen ohne technische Hilfsmittel wahrnehmbar sind, handelt es sich um ein analoges Dokument.

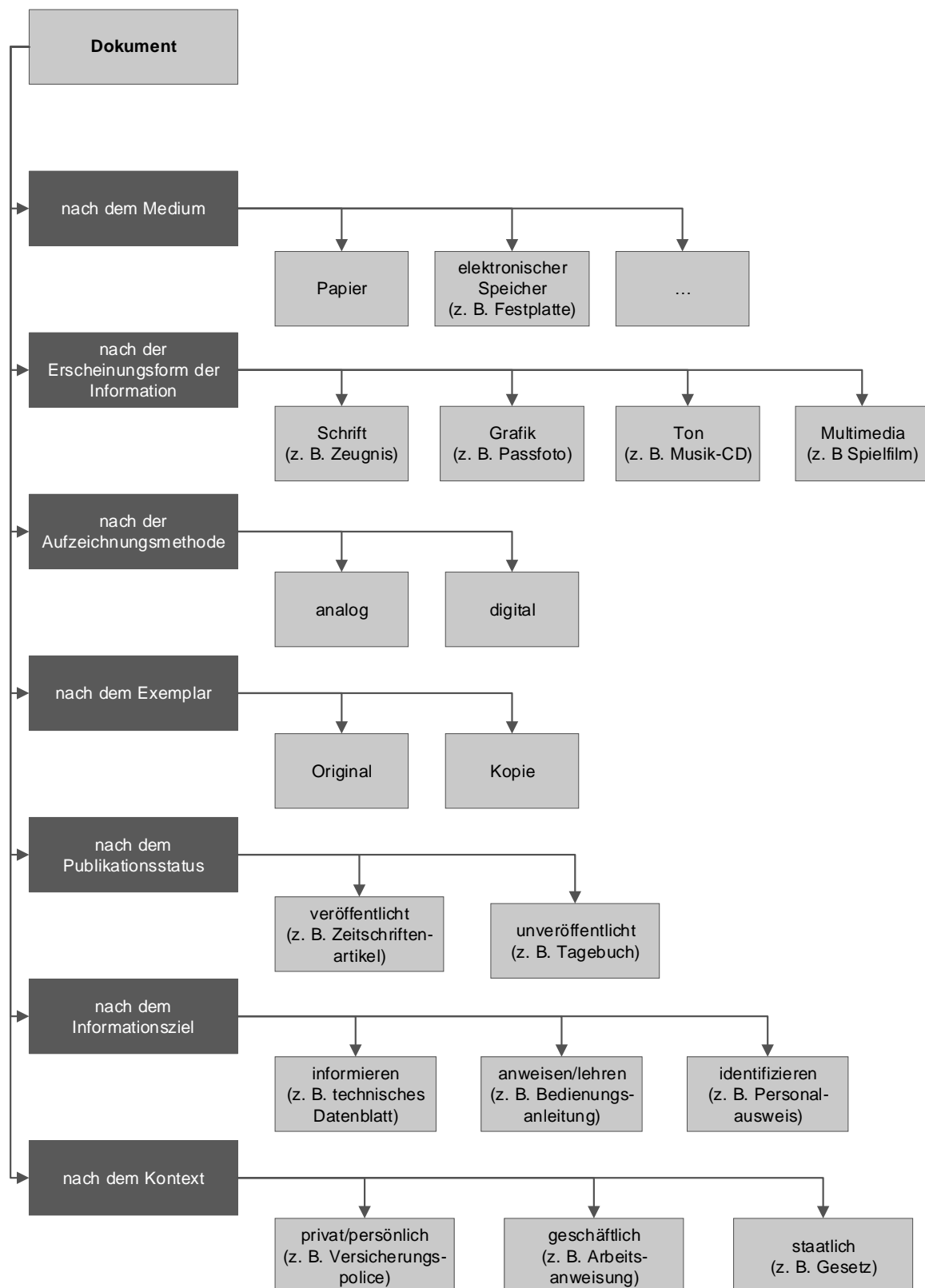


Abbildung 3-4: Dokumentklassifikation (in Anlehnung an [Dah16, S. 195; DRR97, S. 1077; EN02, S. 10; GV01, S. 16; Ran63, S. 27])

Weiterhin enthält die Kunststoffkarte sowohl Schrift als auch Grafiken, sodass ein Multimedia-Dokument vorliegt. Um welches Exemplar es sich handelt, lässt sich pauschal eigentlich nicht beantworten, weshalb an dieser Stelle auch aufgrund des Mediums davon ausgegangen wird, dass es sich um das Original handelt. Ferner handelt es sich bei einem Personalausweis um ein privates und unveröffentlichtes Dokument. Privat, weil die Informationen lediglich eine Privatperson betreffen und unveröffentlicht, weil die enthaltenen Informationen nicht für die Öffentlichkeit zugänglich sind. Auch die Informationsabsicht lässt sich zweifellos als identifizierend einstufen.

Letztlich stellt Abbildung 3-4 den Versuch dar eine möglichst umfassende und nachvollziehbare Klassifikation von Dokumenten vorzunehmen, die den drei von Friedrichs erwähnten Anforderungen genügt. Es muss jedoch angemerkt werden, dass es aufgrund der vielen Möglichkeiten verschiedener Unterscheidungsmerkmale nicht zweckmäßig ist die Forderung nach einer einzigen und richtigen Dokumentklassifikation zu stellen. Ob eine Klassifikation als ‚gut‘ eingestuft werden kann, ist somit auch sehr stark subjektiv und vom Betrachter abhängig.

Um den Themenblock *‚Dokumente und ihre konzeptionellen Grundlagen‘* abzuschließen, sollen nun an dieser Stelle noch einmal die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst werden. In Anlehnung an den Tenor der meisten Dokumentdefinitionen in der Literatur und mit Bezugnahme auf ein Merkmal und eine Funktion von Dokumenten, wurde folgende, für diese Arbeit geltende allgemeine Dokumentdefinition entwickelt: „Ein Dokument ist auf einem zur langfristigen Aufbewahrung geeigneten Medium aufgezeichnete, bedeutsame und/oder rechtlich relevante Information“. Daneben konnten sieben grundlegende Dokumentenmerkmale herausgearbeitet werden, die sich auf verschiedene Ebenen erstrecken und abhängig vom betrachteten Dokumentbestandteil sind. Diese umfassen die Materialität, die Langlebigkeit, die Strukturierung, die Formatierung, die Authentizität, den Pragmatismus und das Enthalten von Verwaltungs- und Inhaltsdaten. Zu den Funktionen, die Dokumente erfüllen, gehören die Speicherung bzw. Sicherung von Informationen, die Informationsverbreitung, die Nachweis- bzw. Beweisfunktion, die Informationsstrukturierung und die Informationsverwaltung. Weiterhin hat der Entwicklungsversuch einer Dokumentklassifikation die folgenden sechs Hauptgruppen ergeben: Medium, Erscheinungsform der Information, Aufzeichnungsmethode, Exemplar, Publikationsstatus, Informationsziel und Kontext.

4 Modelle vs. Dokumente

In den Kapiteln 2 und 3 wurden die konzeptionellen Grundlagen von Modellen und Dokumenten betrachtet. Dazu gehört zum einen die etymologische Herkunft der Begriffe und letztlich deren Definition, aber auch die Merkmale, die Modelle und Dokumente besitzen sowie die Funktionen, die sie erfüllen. Bei einem ersten groben Vergleich der beiden Konzepte stellt sich allerdings die Frage, ob Modelle nicht auch Dokumente sein können und umgekehrt. Zur Beantwortung dieser Frage soll im Rahmen des folgenden Kapitels ein Vergleich zwischen Modellen und Dokumenten anhand ihrer zuvor herausgearbeiteten Merkmale und Funktionen durchgeführt werden.

4.1 Merkmalsvergleich

Um die Merkmale von Modellen und Dokumenten miteinander zu vergleichen, soll die Gegenüberstellung der Merkmale in Tabelle 4-1 herangezogen werden.

Auf den ersten Blick lässt sich erkennen, dass Dokumente über mehr Merkmale verfügen als Modelle. Darüber hinaus gibt es zunächst nur ein Merkmal, welches beide Konzepte gemein haben: den Pragmatismus. In einem ersten Schritt bedeutet das, dass sowohl Modelle als auch Dokumente immer mit einer bestimmten Intention erstellt werden, einen konkreten Zweck erfüllen. Alle anderen Merkmale der beiden Konzepte unterscheiden sich zumindest namentlich voneinander. Dennoch bedeutet das nicht, dass Modelle nicht auch die Merkmale von Dokumenten erfüllen können und umgekehrt. Schaut man sich beispielsweise das Abbildungsmerkmal von Modellen im Zusammenhang mit Dokumenten an, dann lässt sich nicht ausschließen, dass auch Dokumente dieses Merkmal erfüllen.

Tabelle 4-1: Gegenüberstellung der allgemeinen Modell- und Dokumentenmerkmale

Modellmerkmale	Dokumentmerkmale
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abbildung/Repräsentation ▪ Verkürzung ▪ Pragmatismus ▪ Transparenz ▪ Akzentuierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Authentizität ▪ Pragmatismus ▪ Materialität ▪ Langlebigkeit ▪ Strukturierung ▪ Formatierung ▪ Verwaltungsdaten ▪ Inhaltsdaten

Denkt man z. B. an eine Anforderungsliste in der Produktentwicklung, so bildet diese selbstverständlich ein Original ab und zwar in der Form der Eigenschaften eines späteren Produkts. Weiterhin kann auch genau dieses Dokument das Merkmal der Verkürzung erfüllen, wenn beispielsweise nur die Eigenschaften des späteren Produkts festgehalten sind, nicht jedoch die Abmessungen o. Ä. Führt man diese Überlegung weiter, dann kann auch das Merkmal der Akzentuierung erfüllt sein, weil evtl. nur die Produktmerkmale im Dokument vermerkt sind, die zu diesem Zeitpunkt als besonders wichtig erachtet werden.

Dieser Gedankengang kann jedoch auch umgekehrt erfolgen. Zieht man beispielsweise die Merkmale Materialität und Langlebigkeit im Zusammenhang mit Modellen heran, so lässt sich auch für diesen Fall nicht ausschließen, dass die Merkmale von Modellen erfüllt werden. Denn denkt man zurück an das Beispiel des Globus, welcher in aller Regel aus Kunststoff besteht, so erfüllt dieser natürlich auch das Merkmal der Materialität und ist aufgrund seines Materials auch als langlebig einzustufen. Aber auch ein betriebswirtschaftliches Modell, welches in Form von Text auf einem Stück Papier festgehalten ist, erfüllt diese beiden Merkmale und potentiell auch die der Strukturierung und Formatierung.

Den vorhergehenden Gedanken folgend, stellt sich unweigerlich die Frage, ob Dokumente nicht Modelle sind und umgekehrt und es muss festgestellt werden, dass sich diese Frage nicht zweifelsfrei beantworten lässt. Anhand der allgemeinen Merkmale von Modellen und Dokumenten lassen sich keine konkreten Unterscheidungspunkte der beiden Konzepte finden. Grundsätzlich **kann** also auf dieser allgemeinen Ebene ein Modell ein Dokument sein und umgekehrt.

4.2 Funktionsvergleich

Der Vergleich von Modellen und Dokumenten anhand ihrer Merkmale im vorherigen Kapitel hat keine konkreten Unterscheidungsaspekte geliefert. Deshalb sollen nun folgend die Funktionen der beiden Konzepte verglichen werden, um eventuell auf diese Weise eine Differenzierungsmöglichkeit festzustellen. Dazu soll auch hier eine Gegenüberstellung (siehe Tabelle 4-2) herangezogen werden.

Die Funktionen von Modellen und Dokumenten stehen in sehr engem Zusammenhang mit dem pragmatischen Merkmal, welches beide Konzepte vereint. Das heißt, die Funktion des Modells oder des Dokuments entspricht dem verfolgten Zweck des Modellbauers oder des Autors eines Dokuments. Schaut man sich Tabelle 4-2 an und vergleicht die Funktionen miteinander, dann stellt man fest, dass die Funktionen von Dokumenten als formaler einzustufen sind als die von Modellen. Sie spiegeln eher Verwaltungsaspekte wieder, wohingegen die Funktionen von Modellen eher der Wissensgenerierung zuzuordnen sind.

Tabelle 4-2: Gegenüberstellung der allgemeinen Modell- und Dokumentenfunktionen

Modellfunktionen	Dokumentfunktionen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung ▪ Erklärung ▪ Prognose 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationsspeicherung/-sicherung ▪ Informationsverbreitung ▪ Nachweis-/Beweisfunktion ▪ Informationsstrukturierung ▪ Informationsverwaltung

Diese grobe Unterscheidung bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass Modelle und Dokumente nicht auch die Funktionen des jeweils anderen Konzepts erfüllen können. So ist z. B. unstrittig, dass das Dokument „Bedienungsanleitung“ ein Produkt erklärt und ggf. auch beschreibt. Auch für die umgekehrte Variante lassen sich Beispiele finden. Ein Foto, welches alle Merkmale eines Modells erfüllt, kann beispielsweise auch dafür gedacht sein, Informationen zu verbreiten. Man denke in diesem Zusammenhang z. B. an Fotos aus Katastrophengebieten in den Nachrichten, die der Bevölkerung sehr schnell und einfach das Ausmaß konkreter Probleme verdeutlichen ohne dafür weitere Informationen zu Verfügung stellen zu müssen.

Es lässt sich also auch bei dem Vergleich der Funktionen kein eindeutiges Differenzierungsmerkmal zwischen Modellen und Dokumenten finden, da sich die Kernfunktionen zwar grundsätzlich voneinander unterscheiden, man jedoch nicht ausschließen kann, dass auch die Funktionen des jeweils anderen Konzepts erfüllt werden.

Letztlich lässt sich festhalten, dass sich Modelle und Dokumente auf allgemeiner Ebene nicht eindeutig voneinander unterscheiden lassen. Ein Modell kann potentiell auch Merkmale und Funktionen von Dokumenten abdecken und umgekehrt. Ein Grund dafür ist auch die Vielzahl der verschiedenen Ausprägungsformen, vor allem im Hinblick auf Modelle. Allerdings wurde bereits in Kapitel 2.1.2 angemerkt, dass Modelle je nach Wissenschafts- bzw. Einsatzbereich andere, konkretere Formen annehmen, also die Ausprägungsform spezifischer wird. Auch bei Dokumenten sind je nach Kontext Spezifizierungen zu erwarten, die die Unterscheidung von Modellen und Dokumenten kontextspezifisch erleichtern können. Vor diesem Hintergrund und der Tatsache, dass sich die Produktentwicklung laut Aussagen in der Literatur immer weiter von einer dokumentbasierten hin zu einer modellbasierten wandelt [Eig17, S. 10; FMS15, S. xvii], sollen nun folgend in Kapitel 5 sowohl Modelle als auch Dokumente im Kontext der Produktentwicklung betrachtet werden.

5 Modelle und Dokumente in der Produktentwicklung

Unstrittig ist, dass die Produktentwicklung in den letzten Jahren einem permanenten Wandel unterlegen ist [Eig13, S. 92]. Die Gründe für diesen permanenten Wandel sind dabei vielfältig. Zum einen hat sich das Feld der Produktentwicklung aufgrund der Einbeziehung des gesamten Produktlebenszyklus in die Produktentwicklung vergrößert, was sich darin äußert, dass die Produktentwicklung allgemein komplexer geworden ist und zudem mehr Zeit in Anspruch nimmt [Epp91, S. 283; Hyb09, S. 1]. Zum anderen stellen Elektronik und Software einen immer stärker werdenden Anteil in der Produktentwicklung dar [EGZ17, S. 2; SGB12, S. 37], so dass eine Verschiebung von der Betrachtung rein mechanischer Komponenten hin zu mechatronischen Komponenten zu beobachten ist [Eig14b, S. 39; EGZ17, S. 2]. Ein Konzept, dass diese Entwicklungen durch eine interdisziplinäre Betrachtung des Produkts über den kompletten Produktlebenszyklus hinweg aufgreift, ist das Systems Engineering [Eig13, S. 91]. „Systems engineering is a multidisciplinary approach to develop balanced system solutions in response to diverse stakeholder needs“ [FMS15, S. 4]. Wie die Definition zeigt, beschränkt sich das Systems Engineering nicht zwangsläufig auf die Entwicklung technischer Systeme [Zaf14, S. 78], spielt jedoch im Rahmen der technischen Produktentwicklung eine besondere Rolle, da hier in den letzten Jahren eine Entwicklung vom klassischen, dokumentenbasierten Systems Engineering hin zu einem modellbasierten Systems Engineering zu beobachten ist [Eig17, S. 10; FMS15, S. xvii; SGB12, S. 38]. Dieser Wandel impliziert, dass sich Modelle und Dokumente im Rahmen der Produktentwicklung eindeutig voneinander unterscheiden lassen.

Kapitel 5 beschäftigt sich deshalb mit den Unterschieden in der Definition und dem Einsatz von Modellen und Dokumenten in der Produktentwicklung. Die Betrachtung findet dabei zweigeteilt statt, indem zunächst in Kapitel 5.1 das klassische Verständnis der Produktentwicklung und ihres Prozesses herangezogen wird und danach in Kapitel 5.1.2 das Verständnis von Modellen und Dokumenten im neueren Konzept des Systems Engineering beleuchtet wird.

5.1 Traditionelle Produktentwicklung

Die Produktentwicklung ist Teil des Produktentstehungsprozesses [Bra13, S. 3], welcher wiederum Teil des Produktlebenszyklus ist (siehe Abbildung 5-1). Weiterhin bezeichnet die Produktentwicklung sowohl eine Organisationseinheit als auch einen Prozess im Unterneh-

men [PL11, S. 9], wobei der Fokus im Rahmen dieser Arbeit auf dem Verständnis als Prozess liegt. Die Produktentwicklung unterliegt dabei in der Regel zahlreichen Einflüssen⁸, wie z. B. Kundenwünschen an das Produkt, Kostenvorgaben, aber auch rechtlichen Rahmenbedingungen [Lin07, S. 7; PL11, S. 9].

Wie gerade erwähnt, handelt sich bei der Produktentwicklung um einen Prozess für den auch bereits zahlreiche Vorgehensmodelle entwickelt wurden [Eig14a, S. 15]. Dabei haben fast alle Vorgehensmodelle gemein, dass sie den Produktentwicklungsprozess, wie in Abbildung 5-1 ersichtlich, in vier Hauptphasen gliedern [Eig13, S. 93f.]:

- Phase I: Anforderungs-/Aufgabenklärung, Planen
- Phase II: Konzipieren
- Phase III: Entwerfen
- Phase IV: Ausarbeiten, Detaillieren

Ein Vorgehensmodell, das dieser Gliederung folgt und als allgemeingültiges, traditionelles Prozessmodell des Entwickelns und Konstruierens angesehen werden kann [FG13, S. 16], ist jenes nach VDI Richtlinie 2221 [VDI93], welches im folgenden Kapitel kurz erläutert werden soll, um daraufhin die Verwendung von Modellen und Dokumenten in dieser traditionellen Sichtweise der Produktentwicklung darstellen zu können.

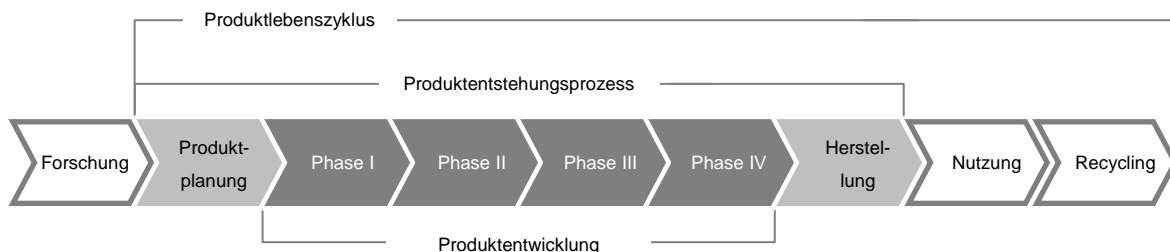


Abbildung 5-1: Einordnung der Produktentwicklung in den Produktentstehungsprozess und den Produktlebenszyklus (in Anlehnung an [NL 16, S. 4])

5.1.1 Traditioneller Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221

Das Vorgehensmodell der Produktentwicklung nach VDI Richtlinie 2221 folgt den zuvor genannten vier Hauptphasen (siehe Abbildung 5-2). Weiterhin unterteilt sich der Prozess in sieben einzelne Arbeitsschritte, die zwar prinzipiell chronologisch durchlaufen werden, jedoch ist auch ein durch die Aufgabenstellung bedingtes iteratives Vor- und Zurückspringen

⁸ Für einen umfassenderen Überblick potentieller Einflussfaktoren auf die Produktentwicklung sei an Ponn et al. verwiesen [PL11].

zwischen den Arbeitsschritten möglich. Neben den einzelnen Arbeitsschritten ist auch jeweils das Arbeitsergebnis ersichtlich. Die Arbeitsschritte müssen ebenso wie das erste und das letzte daraus resultierende Arbeitsergebnis kontinuierlich mit den Anforderungen an das Produkt verglichen werden, um diese Anforderungen entweder zu erfüllen oder aber auch anzupassen. Im Folgenden sollen die einzelnen Arbeitsschritte und ihre wichtigsten Aspekte kurz beschrieben werden.

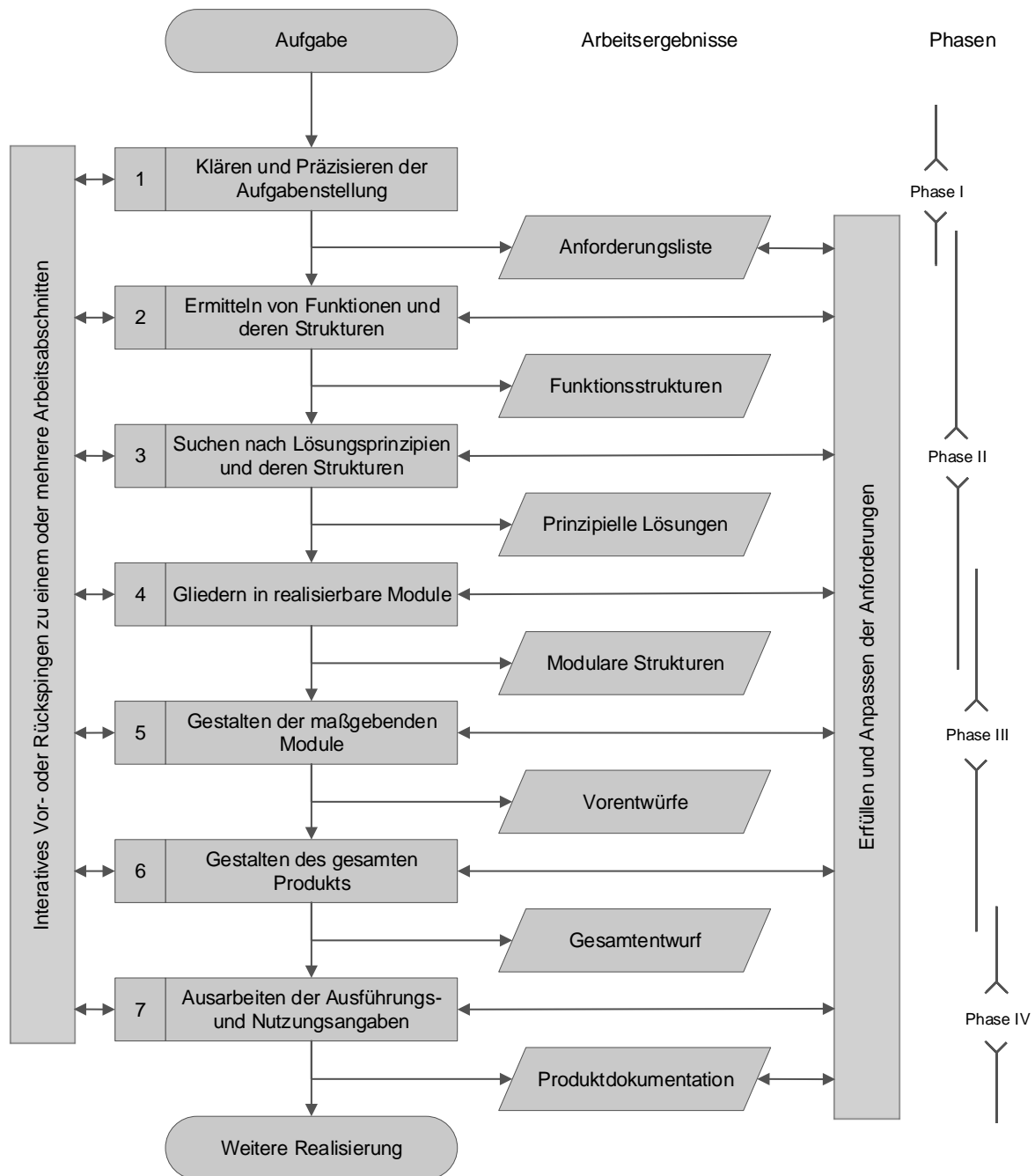


Abbildung 5-2: Traditioneller Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221 [VDI93, S. 9]

Arbeitsschritt 1 ist die Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung und Teil der Phase I. In diesem Schritt geht es im Wesentlichen um das Zusammentragen von Informationen und das Formulieren einer konkreten Aufgabenstellung [Ehr09, S. 253; VDI93, S. 9f.]. Ziel ist es die Anforderungen des Kunden an das Produkt herauszufinden und festzuhalten [VDI93, S. 9f.]. Neben den reinen Anforderungsinformationen werden in diesem Schritt aber auch Informationen zum Stand der Technik oder geltenden Gesetzen bzw. Vorschriften eingeholt [Ehr09, S. 253]. Ergebnis des Arbeitsschrittes ist letztlich die Anforderungsliste eines jeweiligen Produktes. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass sich Arbeitsschritt 1 weiter unterteilen und präzisieren lässt (siehe Abbildung 5-3), da der eigentlichen Anforderungsliste in der Regel noch zwei weitere Arbeitsergebnisse vorausgehen: das Lasten- und Pflichtenheft.

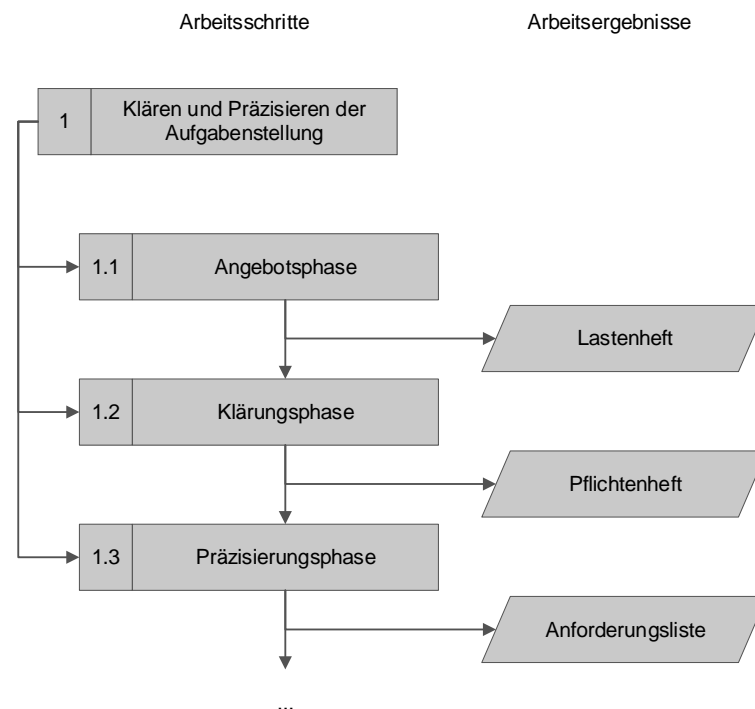


Abbildung 5-3: Phasen bis zur Erstellung der Anforderungsliste (in Anlehnung an [FGN13, S. 320])

Das Lastenheft ist hierbei das Ergebnis der Angebotsphase und enthält die Wünsche und Anforderungen des Kunden an das Produkt. Der Angebotsphase folgt dann die Klärungsphase in der sowohl die technische Realisierbarkeit der Kundenanforderungen als auch der wirtschaftliche Nutzen aus der Herstellung eines entsprechenden Produkts überprüft wird. Ergebnis daraus ist das sogenannte Pflichtenheft, welches als Realisierungsvorschlag umschrieben werden kann. Erst danach folgt die Präzisierungsphase, deren Ergebnis dann

die Anforderungsliste ist. Die Präzisierungsphase umfasst im Wesentlichen die Quantifizierung der Anforderungen, d. h. die Umwandlung in technische Kenngrößen.

Arbeitsschritt 2 ist das Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen und Teil von Phase II. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist das Zerlegen einer Gesamtfunktion des späteren Produkts in einzelne Teilfunktionen und das Darstellen von Wechselwirkungen und Beziehungen zwischen diesen Teilfunktionen. Ergebnis ist hier eine Funktionsstruktur des Produkts, welche möglichst einfach und eindeutig sein sollte [Ehr09, S. 254; FGN13, S. 344f.; VDI93, S. 10]. Arbeitsschritt 3 ist das Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen und ebenfalls Teil von Phase II. In diesem Schritt werden Vorschläge zur konkreten technischen Realisierbarkeit der einzelnen Teilfunktionen und deren Verknüpfungen gesammelt, um so letztlich prinzipielle Lösungen für die technische Umsetzung des Produkts zu finden [VDI93, S. 10]. Wichtig ist, dass diese Lösungen noch eher abstrakt sind und vor allem die Gestaltung des Produkt noch im Hintergrund steht [Ehr09, S. 254f.].

Arbeitsschritt 4 als Teil von Phase II als auch von Phase III ist die Gliederung in realisierbare Module und beschreibt also letztlich den Phasenübergang. In diesem Schritt geht es um die Entwicklung einer modularen Produktstruktur. „Dazu wird die Funktionsstruktur unter Anwendung von Lösungsprinzipien in eine bzw. mehrere alternative Produktstrukturen „übersetzt““ [FGG13, S. 265]. Die Produktstruktur umfasst die zentralen Elemente des Produkts und bündelt bestimmte Funktionen insoweit, dass sowohl eine funktionale als auch physische Unabhängigkeit erreicht wird.

Arbeitsschritt 5 ist das Gestalten der maßgebenden Module und Teil von Phase III. Ziel der gesamten Phase ist es ein qualitativ funktionierendes Produkt in Form eines modularen Konzepts in ein funktionsfähiges und fertigbares, körperlich gestaltetes Gebilde zu überführen [Ehr09, S. 255]. In Arbeitsschritt 5 werden dazu zunächst die einzelnen Module oder auch Baugruppen hinsichtlich ihrer geometrischen und stofflichen Merkmale präzisiert. Es wird in diesem Schritt daher auch von der Grobgestaltung gesprochen [VDI93, S. 11]. Ergebnis dieses Arbeitsschrittes sind entsprechende Vorentwürfe.

Mit Arbeitsschritt 6 folgt dann die Gestaltung des gesamten Produkts, welche zur Phase IV überleitet. Sie wird der Bezeichnung von Arbeitsschritt 5 folgend auch als Feinplanung bezeichnet. Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes erfolgt die Festlegung weiterer gestaltungstechnischer Details, die in einem Gesamtentwurf des Produkts mündet.

Arbeitsschritt 7 bezeichnet als letzter Schritt das Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben und ist Teil von Phase IV. In diesem letzten Schritt werden sämtliche Unterlagen erstellt, die zur Herstellung und Nutzung des Produkts maßgeblich und vom Entwicklungs- und Konstruktionsbereich zu verantworten sind [Ehr09, S. 258; VDI93, S. 11]. Ergebnis des Arbeitsschrittes ist die Produktdokumentation.

5.1.2 Dokumente und Modelle in der traditionellen Produktentwicklung

Nachdem im vorherigen Kapitel der traditionelle Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221 mit seinen sieben einzelnen Arbeitsschritten kurz erläutert wurde, soll nun folgend die Verwendung von Modellen und Dokumenten in diesem Prozess analysiert werden. Dazu ist zunächst zu klären, wie die beiden Begriffe im Rahmen der Produktentwicklung definiert werden, um darauf aufbauend Modelle und Dokumente als Ergebnisse im Produktentwicklungsprozess identifizieren zu können.

Ehrlenspiel definiert Dokumente gemäß DIN 6789 folgendermaßen: „als Einheit gehandhabte Zusammenfassung oder Zusammenstellung von Informationen, die nicht-flüchtig auf einem Informationsträger gespeichert sind“ [DIN13, S. 5; Ehr09, S. 164]. Erkennbar ist, dass diese Definition auch vor dem Hintergrund der Produktentwicklung nicht wesentlich von anderen Dokumentdefinitionen abweicht, sondern die Kernelemente des beständigen Mediums und der Information enthalten sind. Weitergehend ist ein technisches Dokument definiert als „Dokument in der für technische Zwecke erforderlichen Art und Vollständigkeit“ [ISO12, S. 91] und technische bzw. Produktdokumentation umfasst alle Dokumente, die Angaben zur Auslegung oder Spezifikation eines Produkts enthalten, ein Produkt also in seinen Eigenschaften beschreiben [ISO12, S. 91; Kot11, S. 2]. Daneben kann zwischen interner und externer Produktdokumentation unterschieden werden. Während die interne Produktdokumentation solche Dokumente umfasst, die ausschließlich innerhalb der entwickelnden und/oder produzierenden Organisation publiziert werden und damit nicht an Kunden oder Nutzer des Produktes weitergegeben werden (z. B. Stückliste), umfasst die externe Produktdokumentation Dokumente, die für den Kunden bzw. Nutzer bestimmt und zugänglich sind (z. B. Bedienungsanleitung) [EG14, S. 156f.; Kot11, S. 2f.].

Definitionen des allgemeinen Modellbegriffs sind im Rahmen der Produktentwicklung eher selten, denn i. d. R. definieren die Autoren direkt den etwas spezifischeren Begriff ‚*Produktmodell*‘ oder beziehen sich zumindest ausschließlich auf Produktmodelle, selbst wenn allgemein von Modellen gesprochen wird. Dennoch unterscheiden sich auch diese Definitionen, genau wie die des allgemeinen Modells im Hinblick auf ihre Konkretheit deutlich. So definiert z. B. VDI Richtlinie 2249 ein Modell allgemein als „eine dem Zweck entsprechende und interaktiv beeinflussbare rechnerinterne Beschreibung eines Objektes“ und ein Produktmodell als „ein Modell, das alle relevanten Informationen über ein Produkt in hinreichender Vollständigkeit enthält“ [VDI03, S. 14] und hebt damit bei der allgemeinen Definition eine Interpretierbarkeit durch Computer hervor, wohingegen die Definition des Produktmodells eher unspezifisch ist. Braun wird dahingehend etwas konkreter und definiert Produktmodelle in Anlehnung an die allgemeine Modelldefinition als „formale Abbilder realer oder geplanter Produkteigenschaften“ [Bra13, S. 27] und kommt damit auch der Definition

von Lindemann sehr nahe: Formales Abbild realer Produkteigenschaften; aufgabenspezifisch und zweckorientiert [Lin07, S. 332]. Im Grundlagenwerk *Pahl/Beitz Konstruktionslehre* werden Modelle definiert als eine dem Zweck entsprechende Repräsentation (der Vertreter) eines Originals [LFG13, S. 417]. Man erkennt also ganz deutlich, dass sich die Modelldefinition auch im Kontext der Produktentwicklung nicht wesentlich von der allgemeinen Modelldefinition unterscheiden. Gleichwohl soll im Rahmen dieser Arbeit die kontextspezifische Definition nach VDI Richtlinie 2221 als Grundlage dienen, die Produktmodelle als „abstrahierte Darstellung eines Produkts (z. B. durch dessen Daten, Eigenschaften oder Gestalt)“ beschreibt [VDI93, S. 41].

Nach der kurzen Darstellung der Definitionen eines technischen Dokuments sowie eines Produktmodells sollen nun die Arbeitsergebnisse des traditionellen Produktentwicklungsprozesses dahingehend untersucht werden, ob es sich bei ihnen um Modelle oder Dokumente handelt. Da jedoch die Bezeichnungen der Arbeitsergebnisse, insbesondere der Ergebnisse von Arbeitsschritt 2 bis 4, im Hinblick auf die konkrete Erscheinungsform nicht sehr aussagekräftig sind, gibt Tabelle 5-1 einen Überblick darüber in welchen Formen die einzelnen Arbeitsergebnisse vorliegen können.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Dokumente im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses hauptsächlich die Folge von Arbeitsteilung sind und dazu dienen, den korrekten Informationsfluss über verschiedene Schnittstellen hinweg zu sichern. Sie werden dabei vor allem als Ergebnis der planenden Arbeitsschritte im Produktentwicklungsprozess angesehen und da der gesamte Prozess ohne die korrekte Weitergabe von Produktinformationen nicht ordnungsgemäß funktioniert, wird der Produktentwicklungsprozess in seinen planenden Anteilen auch als dokumentgetriebener Prozess aufgefasst [Ehr09, S. 164f.]. Betrachtet man nun den Produktentwicklungsprozess nur in seinen planenden Anteilen, dann befindet man sich in Phase I, deren Arbeitsergebnisse das Lasten- und Pflichtenheft als auch die Anforderungsliste sind. Nach dem Vergleich der typischen Erscheinungsformen mit den Merkmalen, aber auch Funktionen von Modellen und Dokumenten, können Lastenheft, Pflichtenheft und Anforderungsliste eindeutig den Dokumenten zugeordnet werden. Grund dafür sind in diesem Fall weniger die Merkmale, sondern vielmehr die Funktionen, da die drei Arbeitsergebnisse vor allem dazu dienen Informationen weiterzugeben und weniger zur Abbildung eines künftigen Produkts.

Geht man einen Schritt weiter, folgt Phase II mit den Arbeitsschritten 2 und 3 und den Funktionsstrukturen und prinzipiellen Lösungen als Ergebnis. Die Funktionsstrukturen können dabei anhand ihrer Erscheinungsform eher den Modellen als den Dokumenten zugeordnet werden, da sie bereits versuchen konkrete Zusammenhänge vereinfacht darzustellen und deshalb über die reine Informationsauflistung wie bei Dokumenten hinausgehen.

Tabelle 5-1: Typische Erscheinungsformen der Arbeitsergebnisse des traditionellen Produktentwicklungsprozesses [in Anlehnung an Ehr09, S. 253ff.; FGK13, S. 100; VDI93, S. 10f.; VDI97, S. 6f.; VDI01, S. 5; VDI04b, S. 21ff.; VDI11, S. 14]

Schritt	Arbeitsergebnis	Erscheinungsform
1	Lastenheft, Pflichtenheft, Anforderungsliste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tabellen ▪ Formulare ▪ Checklisten ▪ Requirement Engineering Systeme
2	Funktionsstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formale Darstellungen ▪ Schemata ▪ Schaltungen
3	Prinzipielle Lösungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ symbolhafte Skizzen ▪ freie Strichskizzen ▪ 3D-Freihandskizzen ▪ Schaltungen ▪ Beschreibungen
4	Modulare Strukturen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anordnungsskizzen ▪ Graphen ▪ Logikpläne ▪ Struktogramme ▪ Fließbilder
5	Vorentwürfe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ perspektivischen Skizzen ▪ grobmaßstäbliche Zeichnungen ▪ Stromlaufpläne ▪ CAD-Modelle ▪ CAE-Modelle
6	Gesamtentwurf	<ul style="list-style-type: none"> ▪ maßstäbliche Zeichnungen ▪ Instrumentenfließbilder ▪ CAD-Modelle ▪ CAE-Modelle
7	Produktdokumentation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stücklisten ▪ Berechnungen ▪ Zeichnungen ▪ Testberichte ▪ Produktbeschreibungen ▪ Patente ▪ Risikobeurteilungen ▪ Handbücher/Anleitungen ▪ Fertigungsvorschriften ▪ ...

Hinsichtlich der Abstraktionsstufen von Modellen befindet man sich in diesem Bereich des Produktentwicklungsprozesses in etwa bei Stufe A9, also direkt an der Grenze zur Erfüllung aller allgemeinen Modellmerkmale, da Schaltungen und grobe Schemata mit der Ausprägung von Organigrammen auf dieser Abstraktionsstufe vergleichbar sind.

Die Zuordnung der prinzipiellen Lösungen als Ergebnis von Arbeitsschritt 3 ist nicht so eindeutig, da hier sowohl Skizzen als auch reine Beschreibungen als Erscheinungsform in Frage kommen. Handelt es sich ausschließlich um Skizzen, sind diese zweifellos den Modellen, genauer der Abstraktionsstufe A6 zuzuordnen. Allerdings ist das Arbeitsergebnis auch im Fall von reinen Funktionsbeschreibungen den Modellen zuzuordnen, da grundsätzlich alle Merkmale erfüllt werden und eine Zuordnung zu Dokumenten auch aufgrund der Funktion der Beschreibung nicht zweckmäßig wäre. Mit Phase III folgen dann die Arbeitsergebnisse der Schritte 4 und 5, also die modularen Strukturen und die Vorentwürfe. Die Zuordnung der modularen Strukturen ist aufbauend auf den vorherigen Zuordnungen erneut unproblematisch, denn da auch hier Skizzen, Graphen und Struktogramme zum Einsatz kommen, müssen die modularen Strukturen den Modellen zugeordnet werden, die sich im Bereich der Abstraktionsstufen A9 bis A6 bewegen. Weitergehend sind dann auch die Vorentwürfe als Ergebnis von Arbeitsschritt 5 und der Gesamtentwurf als Ergebnis von Schritt 6 in Phase IV den Modellen zuzuordnen, wenn sich auch der Grad der Abstraktion immer weiter verringert. Erst im letzten Schritt des Produktentwicklungsprozesses ergibt sich wieder eine Veränderung im Hinblick auf die Zuordnung der Arbeitsergebnisse zu Modellen oder Dokumenten, denn obwohl auch hier technische Zeichnungen eine typische Erscheinungsform darstellen, sind die Arbeitsergebnisse aufgrund ihrer Funktion nicht den Modellen zuzuordnen. Die Hauptaufgabe der Produktdokumentation besteht nämlich darin, aussagefähige Nachweise über Produkte und deren Eigenschaften zu ermöglichen und ist damit auch in Bezug auf rechtliche Aspekte relevant und in Großteilen z. B. aus Produkthaftungsgründen sogar vorgeschrieben [Sch01, S. 83; VDI06, S. 10f.]. Letztlich ergibt sich also die in Abbildung 5-4 ersichtliche Zuordnung. Abbildung 2-1 zeigt, dass sich mehr Modelle als Dokumente im traditionellen Produktentwicklungsprozess identifizieren lassen. Lediglich die Arbeitsergebnisse der ersten und letzten Phase können aufgrund ihrer Erscheinungsform und Funktion den Dokumenten zugeordnet werden.

Ein weiterer Punkt, der ebenfalls in Abbildung 5-4 ersichtlich ist, sich auf Modelle bezieht und bisher noch nicht angesprochen wurde, ist der Formalisierungsgrad. Generell können Darstellungsmittel, zu denen auch Modelle zwangsläufig gehören, den folgenden drei Klassen zugeordnet werden [Con04, S. 24]:

- informell
- semi-formal
- formal

In der Regel wird diese Unterteilung hauptsächlich im Zusammenhang mit Modellierungssprachen verwendet [vgl. Fv18, S. 20]. Die drei Klassen können allerdings auch auf Modelle im Allgemeinen angewendet werden, da diese immer auf einer Modellierungssprache beruhen. Die Klassen geben dabei den Formalisierungsgrad eines Modells an. „Eine formale Modellierungssprache besteht aus einer eindeutig festgelegten Menge von Symbolen“ sowie einer festgelegten Semantik und Syntax (z. B. mathematische Formel) [Fv18, S. 20]. Der Vorteil einer solchen Art der Modellierung liegt in der eindeutigen Interpretierbarkeit des Modells. Durch eine formale Modellierungssprache wird also eine gewisse Genauigkeit bzw. Präzision erreicht und Interpretationsspielraum vermieden [Con04, S. 24; Fv18, S. 20; Kle09, S. 1]. Ein weiterer Vorteil besteht in der rechnergestützten Analyse einer formalen Modellierungssprache, d. h. entsprechende Modelle sind durch Computer interpretierbar, was z. B. eine Zusammenarbeit zwischen mehreren Personen im Produktentwicklungsprozess erleichtert, da eine Fehlübermittlung von Informationen nahezu ausgeschlossen wird. Die eindeutige Interpretierbarkeit formaler Modelle bildet auch einen wesentlichen Unterschied zu Dokumenten, die im allgemeinen mehrdeutig interpretiert werden können [ERZ14, S. 81]. Im Gegensatz dazu besteht eine informelle Modellierungssprache nur aus Symbolen und einer zumindest teilweise eindeutigen Syntax. Eine festgelegte Semantik fehlt den informellen Modellierungssprachen, zu denen auch die natürlichen Sprachen gehören, weshalb sie genau wie Dokumente mehrdeutig interpretierbar sind [Con04, S. 24; Fv18, S. 20]. Semi-formale Modelle und Modellierungssprachen bewegen sich zwangsläufig zwischen den informellen und formalen Modellen und Modellierungssprachen und weisen zwar eine festgelegte Menge an Symbolen auf, Syntax und Semantik sind jedoch nur teilweise festgelegt (z. B. EPK-Modell). Um in diesem Zusammenhang auf Abbildung 5-4 zurückzukommen, sei angemerkt, dass der Formalisierungsgrad der Modelle im Produktentwicklungsprozess stetig zunimmt. An dieser Stelle soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Beschriftung des Balkens in Abbildung 5-4 nicht mit einer eindeutigen Zuordnung zur jeweiligen Klasse des Formalisierungsgrads zu verwechseln ist. Die Beschriftung

soll lediglich dazu dienen, sich über die verschiedenen Ausprägungen des Formalisierungsgrads bewusst zu werden. Das bedeutet also nicht, dass die Funktionsstrukturen stets informell und die Gesamtentwürfe stets formal sind etc. Der entsprechende Balken gibt lediglich eine Tendenz wieder, die bei erneuter Betrachtung der typischen Erscheinungsformen der Arbeitsergebnisse im traditionellen Produktentwicklungsprozess aus Tabelle 5-1 leicht nachzuvollziehen ist. Die Resultate der ersten Phasen sind Schemata, Freihandskizzen und Beschreibungen, die in aller Regel keine feste Semantik aufweisen und auch in ihrer Syntax eher begrenzt sind, weshalb man sich in den entsprechenden Phasen im Rahmen der informellen bis semi-formalen Modelle bewegt. Im Kern des traditionellen Produktentwicklungsprozesses kommen hauptsächlich Struktogramme und Fließbilder zum Einsatz, zu denen auch EPK-Modelle zählen, die bereits als Beispiel für semi-formale Modelle genannt wurden. Gegen Ende des Prozesses mit den Phasen 5 und 6 stehen Zeichnungen und vor allem CAD- und CAE-Modelle im Vordergrund. In Anbetracht der Tatsache, dass CAD- und CAE-Modelle rechnerbasiert sind, handelt es sich bei den Arbeitsergebnissen dieser Phasen um semi-formale bis formale Modelle.

Was den Formalisierungsgrad von Modellen im traditionellen Produktentwicklungsprozess angeht, ist also eine Entwicklung von eher informellen über semi-formale hin zu formalen Modellen festzustellen, sofern man von einer Zuordnung zu Modellen und Dokumenten wie in Abbildung 5-4 ausgeht. Konkret bedeutet das für das allgemeine Vorgehen, dass man vom großen Ganzen, das noch viel Interpretationsspielraum zulässt, zu ganz konkreten Aspekten übergeht, die sehr genau bzw. exakt dargestellt sind, sodass keine Fehlinterpretation von Informationen mehr möglich ist.

In der Literatur gibt es jedoch auch Autoren, die eine andere Zuordnung als in Abbildung 5-4 vornehmen und jedes Arbeitsergebnis des Produktentwicklungsprozesses als Dokument bezeichnen [vgl. Sch01, S. 44], was im Endeffekt die Basis für die Aussage, dass sich die Produktentwicklung von einer dokumentbasierten zu einer modellbasierten wandelt, darstellt. Denn nur wenn der Großteil der Arbeitsergebnisse bisher Dokumente sind, hat die Aussage ein Fundament und ergibt Sinn. Allerdings stellt sich im Hinblick auf die Zuordnung im Rahmen dieser Arbeit die Frage, wie entsprechende Autoren ihre Zuordnung begründen. Zur Beantwortung dieser Frage soll Definition (12)⁹ aus Anhang C herangezogen werden. In dieser Definition wird explizit das Dokumentenmerkmal der Informationsweitergabe bzw. -verbreitung hervorgehoben, auf welchem die Zuordnung der Autoren basiert, die jedes Arbeitsergebnis im Produktentwicklungsprozess als Dokument bezeichnen. Denn wie

⁹ „festgelegte und strukturierte Menge von Informationen, die als Einheit verwaltet und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden kann“ [EN02, S. 8].

bereits zuvor erwähnt, ist es die allgemeine Auffassung, dass Dokumente in der Produktentwicklung vor allem zur Aufrechterhaltung eines korrekten Informationsflusses dienen, welcher wiederum aufgrund einer relativ starken Arbeitsteilung unerlässlich ist [Ehr09, S. 164f.; Lau10, S. 13].

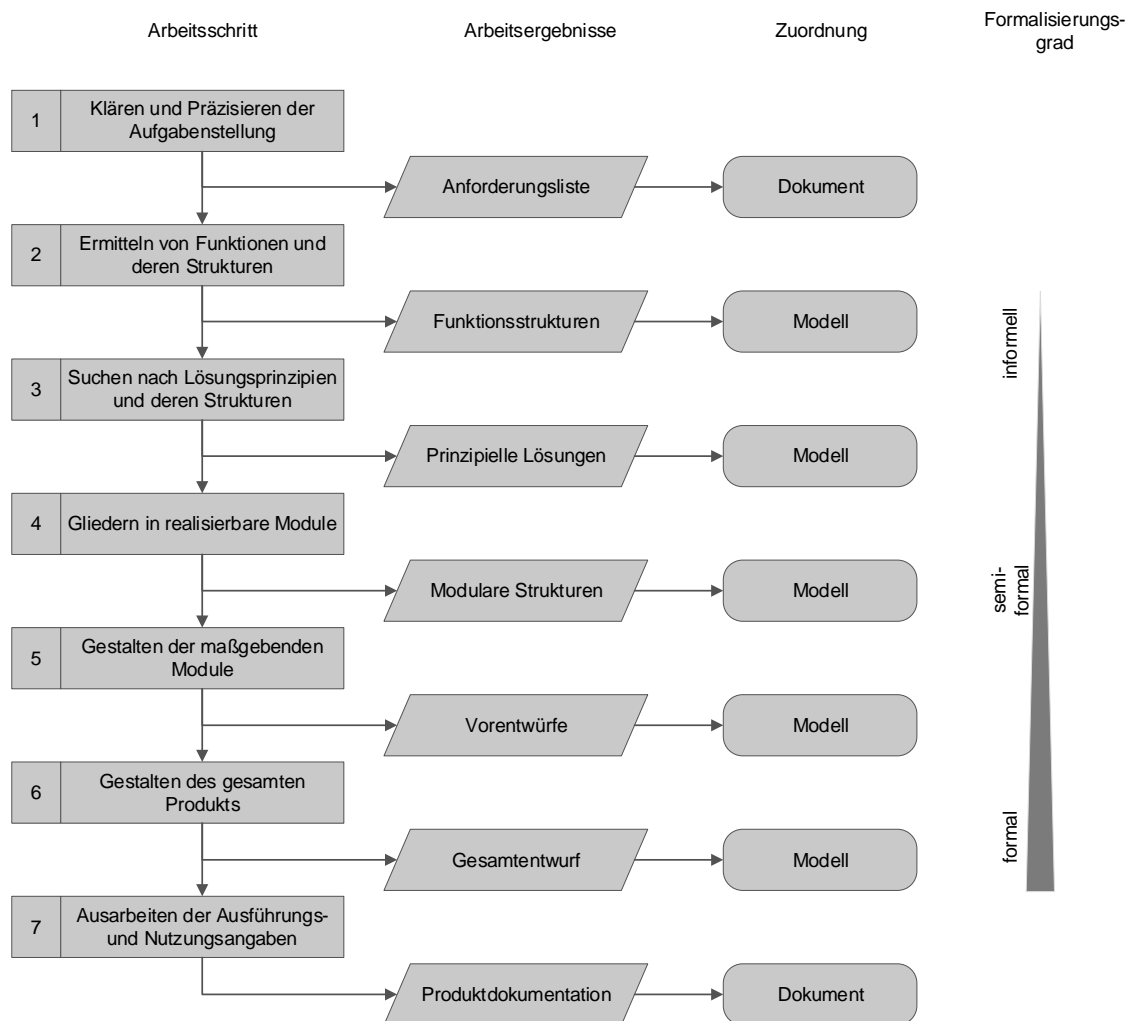


Abbildung 5-4: Zuordnung der Arbeitsergebnisse des traditionellen Produktentwicklungsprozesses zu Modellen und Dokumenten

Da letztlich jedes Arbeitsergebnis im Produktentwicklungsprozess in den nächsten Arbeitsschritt eingeht und damit Information überträgt [Alt12, S. 1], kann nachvollzogen werden, wieso manche Autoren als „Produktmodell [...] die Spezifikation von Produktinformationen in Form technischer Dokumente [...], die im Entwicklungsprozess als Ergebnisse entstehen“ begreifen [PL11, S. 20]. Betrachtet man die Aussage genau, dann wird deutlich, dass die beiden Begriffe ‚Produktmodell‘ und ‚technisches Dokument‘ in einem Zug genannt werden und zwar derart, dass Produktmodelle in Form technischer Dokumente existieren. Das

impliziert wiederum, dass es sich bei einem Objekt sowohl um ein Modell als auch ein Dokument handeln kann und zwar zur gleichen Zeit. Modelle im Rahmen der Produktentwicklung können demnach also auch als Dokumente angesehen werden, allerdings gilt diese Feststellung nicht in umgekehrter Weise, denn Dokumente in der Produktentwicklung sind nicht zwangsläufig Modelle. Vereinfacht gesagt ist das Dokument nach diesem Verständnis lediglich die „Verpackung“ wohingegen das Modell den Inhalt darstellt. Der Inhalt des Dokuments muss aber nicht zwangsläufig in Form eines Modells vorliegen. Im Endeffekt werden Produktmodelle und damit Produktinformationen also mit Hilfe von Dokumenten im Entwicklungsprozess verfügbar gemacht [Lau10, S. 12]. „Das heißt, auch in Bezug auf rechnerbasierte Anwendungen werden Produktmodelle und damit Produktinformationen in Form von Dokumenten gespeichert und verfügbar gemacht“ [Lau10, S. 13]. Abbildung 5-5 verdeutlicht noch einmal die Abgrenzung von Produktmodell und Dokument.

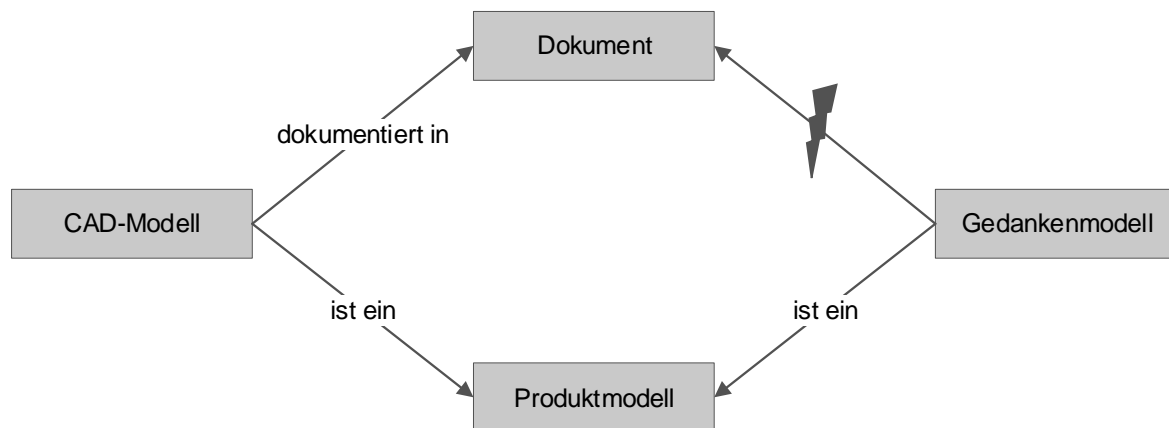


Abbildung 5-5: Abgrenzung von Produktmodell und Dokument [Lau10, S. 12]

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich anhand des reinen Vergleichs der Arbeitsergebnisse im traditionellen Produktentwicklungsprozess mit den Merkmalen und Funktionen von Modellen und Dokumenten mehr Modelle identifizieren lassen. Lediglich die Ergebnisse der planenden Anteile des Produktentwicklungsprozesses und des letzten Schritts der Produktdokumentationen können als Dokumente identifiziert werden. Vor dem Hintergrund der Arbeitsteilung in der Produktentwicklung und der daraus resultierenden Notwendigkeit der Informationsweitergabe, die charakteristisch für Dokumente ist, können die identifizierten Produktmodelle jedoch auch als Dokumente erachtet werden. Allerdings handelt es sich bei den Ergebnissen weiterhin auch um Modelle, die lediglich in die Form von Dokumenten gebracht werden, um so die enthaltene Information leichter weitergeben zu können.

5.2 Systems Engineering

Wie in Kapitel 5 bereits erwähnt, erfolgt die Analyse der Verwendung von Modellen und Dokumenten im Produktentwicklungsprozess zweigeteilt. Nachdem ihre Verwendung im traditionellen Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221 bereits im vorherigen Abschnitt betrachtet wurde, folgt nun die Untersuchung im Hinblick auf die neuere Sichtweise des System Engineering. Dazu soll zunächst eine kurze Definition des Systems Engineering erfolgen, woraufhin dann auf das V-Modell des Systems Engineering als äquivalent zum traditionellen Produktentwicklungsprozess eingegangen werden soll. In einem letzten Schritt sollen dann im Hinblick auf die Entwicklung weg von Dokumenten hin zu Modellen die beiden Formen des Systems Engineering, das dokumentbasierte und das modellbasierte Systems Engineering näher erläutert werden.

Das Systems Engineering ist eine Disziplin, die sich aufgrund der zunehmenden Komplexität im Produktentwicklungsprozess entwickelt hat und versucht diese Komplexität zu reduzieren, indem es ein Problem als Ganzes und nicht nur in seinen einzelnen Bestandteilen betrachtet [HP14, S. 4; Kos11, S. 3]. Im konkreten Fall eines Produkts als Problemgegenstand bedeutet dies, dass der gesamte Produktlebenszyklus und damit alle Einflussfaktoren auf ein Produkt bereits bei der Produktentwicklung miteinbezogen werden [Bue09, S. 3]. Aufgrund dessen handelt es sich beim Systems Engineering zwangsläufig um einen interdisziplinären Ansatz, der nicht nur traditionelle Ingenieursdisziplinen miteinander verbindet [Kos11, S. 4], sondern auch viele andere Wissenschaftsdisziplinen wie z. B. das Projektmanagement [Bis15, S. 261; Win16, S. 4]. Abbildung 5-6 soll die Interdisziplinarität verdeutlichen und typische Bereiche aufzeigen, die auch im Systems Engineering Beachtung finden.

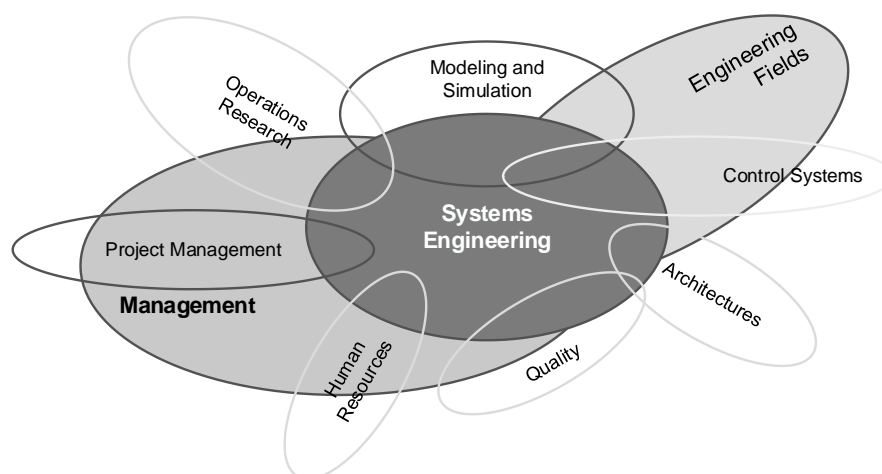


Abbildung 5-6: Bereiche des Systems Engineering [Kos11, S. 35]

Hauptziel ist bei diesem Ansatz letztlich die qualitativ hochwertige, zuverlässige und kostengünstige Erfüllung der Bedürfnisse von Stakeholdern [Bra13, S. 64; Eig14a, S. 45]. Ein System¹⁰, wie es das Systems Engineering beschreibt bzw. umfasst, ist dabei aber mehr als die Summe seiner Subsysteme [Eig17, S. 10]. Es geht vielmehr darum, auch die Wechselwirkungen der einzelnen Subsysteme oder Teilelemente untereinander zu betrachten und auch solche der Teilsysteme mit ihrer Umwelt [Win16, S. 2].

Systems Engineering ist also ein interdisziplinärer Ansatz, der sich immer mit dem Blick auf ein Gesamtsystem bereits sehr früh im Entwicklungsprozess auf Kundenwünsche und Funktionalitätsanforderungen fokussiert, dabei sowohl technische, wirtschaftliche als auch andere Aspekte miteinbezieht, um so einen strukturierten Produktentwicklungsprozess sicherzustellen, der letztlich die bestmögliche Zufriedenstellung der Stakeholder über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg nach sich zieht [Bis15, S. 261; Bra13, S. 74; WRF15, S. 265; Wei07, S. 8] .

5.2.1 Das V-Modell des Systems Engineering

Ebenso wie in der traditionellen Sichtweise der Produktentwicklung existieren auch für das Systems Engineering verschiedene Vorgehensmodelle [Eig13, S. 101]. Da es sich beim Systems Engineering um einen disziplinübergreifenden Prozess handelt, muss ein entsprechendes Vorgehensmodell dies zwangsläufig berücksichtigen. Auf dem Gebiet der Mechatronik wurden in den letzten zwanzig Jahren aufgrund der Erweiterung des Begriffsverständnisses bereits einige disziplinübergreifende Vorgehensmodelle entwickelt. Ein weit verbreitetes ist jenes nach VDI Richtlinie 2206 [VDI04a, S. 44], das eine v-förmige Struktur aufweist und seinen Ursprung in der Informatik hat. Neben dem V-Modell der VDI Richtlinie 2206 existieren in der Literatur weitere zahlreiche Variationen dieses Modells [Eig14a, S. 35]. Aufbauend auf den disziplinübergreifenden Vorgehensmodellen der Mechatronik wurden auch für das Systems Engineering entsprechende Modelle entwickelt. Eines davon, welches auch im Rahmen dieser Arbeit herangezogen werden soll, ist das erweiterte V-Modell (siehe Abbildung 5-7). Das Modell wurde von vier Lehrstühlen der technischen Universität Kaiserslautern in Zusammenarbeit mit einem Industriekonsortium und mehreren Kooperationspartnern entwickelt [Eig14b, S. 47]. Die speziell auf das Systems Engineering fokussierte Erweiterung des ursprünglichen V-Modells nach VDI Richtlinie 2206 betrifft dabei vor allem den linken „Flügel“ im Modell [EGZ12, S. 1669f.].

¹⁰ “A system is a combination of interacting elements organized to achieve one or more stated purposes” [Bis15, S. 258; WRF15, S. 265].

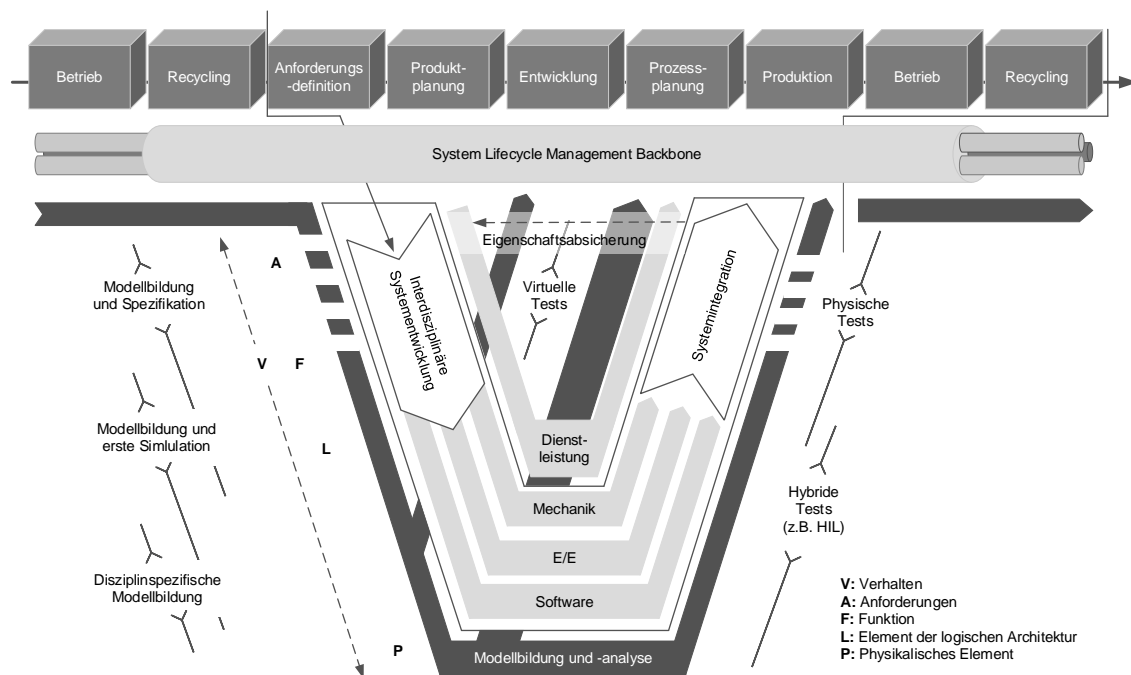


Abbildung 5-7: Erweitertes V-Modell [ERZ15, S. 62]

Ausgangspunkt des Modells bildet ähnlich dem traditionellen Produktentwicklungsprozess zunächst die Anforderungsdefinition. Sie ist sowohl die Basis als auch Maßstab für die spätere Produktbewertung und deren Ergebnis fließt direkt in die interdisziplinäre Systementwicklung ein. Es folgt eine erste grobe Funktions- und Verhaltensbeschreibung, indem die wesentlichen physikalischen und logischen Wirkungsweisen des späteren Produkts erarbeitet werden [GLB12, S. 30f.]. Dazu wird das System ‚Produkt‘ in verschiedene Teilsysteme zerlegt. Ergebnis der groben Funktions- und Verhaltensbeschreibung ist dann zunächst eine „disziplin- und lösungsneutrale Sichtweise auf das Gesamtsystem“ [Eig13, S. 103]. Erst danach folgen auf Basis dieses Ergebnisses domänenspezifische Entwürfe, die wiederum in der nachfolgenden Systemintegration zusammengeführt werden, um so das Zusammenwirken der einzelnen Subsysteme untersuchen zu können. Grundsätzlich ist dabei immer die Eigenschaftensicherung zu beachten, d. h. es müssen kontinuierlich die tatsächlichen mit den gewünschten Systemeigenschaften verglichen werden und bei entsprechenden Abweichungen Anpassungen vorgenommen werden [GLB12, S. 31]. Der gesamte Prozess wird dabei immer von Tests begleitet. Während nach Abschluss der Systemintegration, die in der Produktion mündet, physische Tests durchgeführt werden, finden relativ früh im Prozess bereits virtuelle Tests statt. Grundlage hierfür sind entsprechende Modellierungssprachen [Eig13, S. 103].

Der bereits angesprochene linke „Flügel“ spiegelt die eigentliche Erweiterung des V-Modells im Hinblick auf das Systems Engineering wieder. Der erste Schritt ist hier die Modellbildung und Spezifikation. Dabei werden zunächst rein qualitative Produktmodelle entworfen, welche die zuvor angesprochenen Anforderungs-, Funktions-, Verhaltens-, aber auch logische Systemstrukturen abbilden. Zum Einsatz kommen klassische Modellformen wie z. B. Zeichnungen bis hin zu semi-formalen Modellierungssprachen wie SysML. Folglich sind diese Modelle noch nicht simulierbar, da keine Interpretation durch einen Computer möglich ist. Erst im nächsten Schritt, der Modellbildung und ersten Simulation, werden rein formale Modellierungssprachen¹¹ wie Matlab eingesetzt und somit quantitative, simulierbare Modelle erstellt. Der letzte Schritt ist schließlich die disziplinspezifische Modellbildung. In ihr werden, wie die Bezeichnung vermuten lässt, sehr konkrete und auf spezielle Disziplinen gerichtete Modelle generiert wie beispielsweise Kraftsimulationsmodelle [Eig13, S. 102f.; Eig14b, S. 47f.; EGZ17, S. 4f.].

Auffallend ist, dass die Erweiterung des V-Modells hauptsächlich auf die Entwicklung von Modellen ausgerichtet ist und damit eher auf das modellbasierte als das dokumentbasierte Systems Engineering. Nichtsdestotrotz lässt sich der grundsätzliche Prozess auch auf das dokumentbasierte Systems Engineering anwenden, das als Ursprungsform angesehen wird. Um dennoch Unterschiede zwischen den beiden Formen aufzeigen zu können, sollen diese in den folgenden zwei Unterkapiteln näher erläutert werden.

5.2.2 Dokumentenbasiertes Systems Engineering (DBSE)

Systems Engineering in seiner Ursprungsform gilt als papier- oder dokumentenbasiert und wird daher auch als dokumentenbasiertes Systems Engineering bezeichnet [EGZ12, S. 1667; SGB12, S. 38]. Bei der Produktentwicklung auf Basis dieses Ansatzes werden funktionale Ablaufdiagramme, Pläne, Zeichnungen, Listen u. Ä. genutzt, um die Produkthanforderungen und -spezifikationen, aber auch prinzipielle Lösungen etc. festzuhalten [FMS15, S. 15,20; HP14, S. 6; JGK11, S. 197]. Nach den für diese Arbeit geltenden Definitionen, handelt es sich aber z. B. bei Zeichnungen definitiv um Modelle und nicht um Dokumente. Das wirft die Frage auf, wieso das traditionelle Systems Engineering trotz Verwendung solcher Werkzeuge als dokumentenbasiert gilt. Hintergrund dessen ist weniger die Definition der Objekte Modell und Dokument, sondern vielmehr der zugrundeliegende Prozessablauf

¹¹ Eine Modellierungssprache ist ein künstliches Regelwerk aus einzelnen Elementen fest vorge-schriebener Bedeutung (Semantik) und zusätzlichen Regeln ihrer Verknüpfung (Syntax) untereinander. Hauptzweck ist die eindeutige Interpretierbarkeit des beschriebenen Inhalts [Zaf14, S. 89].

bei der Produktentwicklung. Beim dokumentbasierten Systems Engineering wird grundsätzlich jedwede Information über das zu entwickelnde Produkt aufgezeichnet. Bei der konkreten Form dieser Aufzeichnungen kann es sich sowohl um Modelle als auch um reine Textdokumente handeln und dieser Aspekt ist im Hinblick auf die Auffassung als dokumentbasierter Ansatz auch vollkommen irrelevant. Von Bedeutung ist dabei lediglich die Interdisziplinarität des Systems Engineering allgemein, wodurch eine Vielzahl verschiedener Akteure an der Produktentwicklung beteiligt sind [Hol15, S. 300; Win16, S. 4]. Jeder dieser Akteure zeichnet entsprechend seine Arbeitsergebnisse in irgendeiner Form auf. Da ganz am Ende des Produktentwicklungsprozesses jedoch nur ein Produkt steht, müssen all diese Informationen irgendwann vereint werden. Daneben bilden sie je nachdem auch schon mitten im Prozess die Grundlage für die Arbeit eines Anderen. Der Austausch all dieser einzelnen Informationen führt letztlich zu einem enormen Aufwand und kann sehr unübersichtlich werden (siehe Abbildung 5-8).

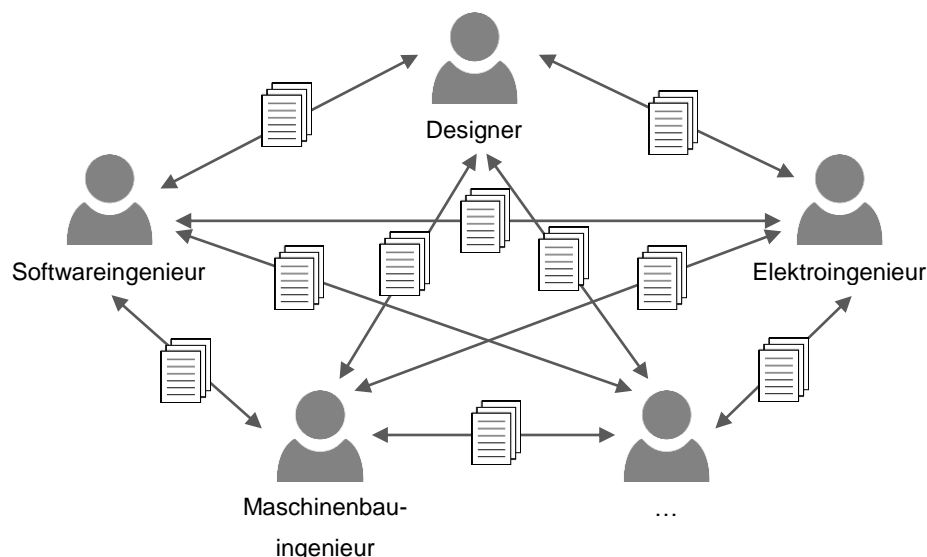


Abbildung 5-8: Struktur des DBSE [in Anlehnung an Alt12, S. 2; Zaf14, S. 82]

Zudem muss kontinuierlich sichergestellt werden, dass keine Informationen verloren gehen, sie korrekt übermittelt werden und konsistent sind, weshalb ein Informations- bzw. Dokumentationsmanagement bei dieser traditionellen Form des Systems Engineering unerlässlich ist. An dieser Stelle sei erneut auf den Formalisierungsgrad hingewiesen. Wie bereits in Kapitel 5.1.2 erwähnt, kann auch derart argumentiert werden, dass Dokumente lediglich die „Verpackung“ von Modellen sind bzw. sein können und im Zusammenhang mit Modellen wird der Formalisierungsgrad relevant. Da es sich bei Dokumenten wie sie im DBSE aufgefasst werden, eher um informelle Modelle handelt, sind diese nicht durch Computer in-

interpretierbar und lassen im Allgemeinen Interpretationsspielraum. Es besteht also auch allein aus diesem Grund die Gefahr einer fehlerhaften Informationsübermittlung. Wird der Informationsfluss nicht ordnungsgemäß sichergestellt und überwacht, kann es zu erhöhten Entwicklungskosten aufgrund von Fehlern oder späteren Qualitätsverlusten beim Produkt kommen. Daneben ist der gesamte Prozess durch den hohen Koordinationsaufwand auch eher zeitaufwendig und damit langsam [Alt12, S. 1f.; FMS15, S. 15f.].

5.2.3 Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE)

Das modellbasierte Systems Engineering ist eine Weiterentwicklung des dokumentbasierten Systems Engineering und zeichnet sich dadurch aus, dass ein gemeinsames Systemmodell im Mittelpunkt der interdisziplinären Entwicklung steht [FMS15, S. 17], wodurch die Notwendigkeit der Dokumentverwaltung nicht mehr gegeben ist (siehe Abbildung 5-9) [Alt12, S. 2; Hol15, S. 302]. In diesem computergestützten Systemmodell werden alle Informationen gebündelt, sodass jede in den Entwicklungsprozess involvierte Person jederzeit darauf zugreifen und Ergänzungen vornehmen kann [Alt12, S. 2; EGZ12, S. 1667].

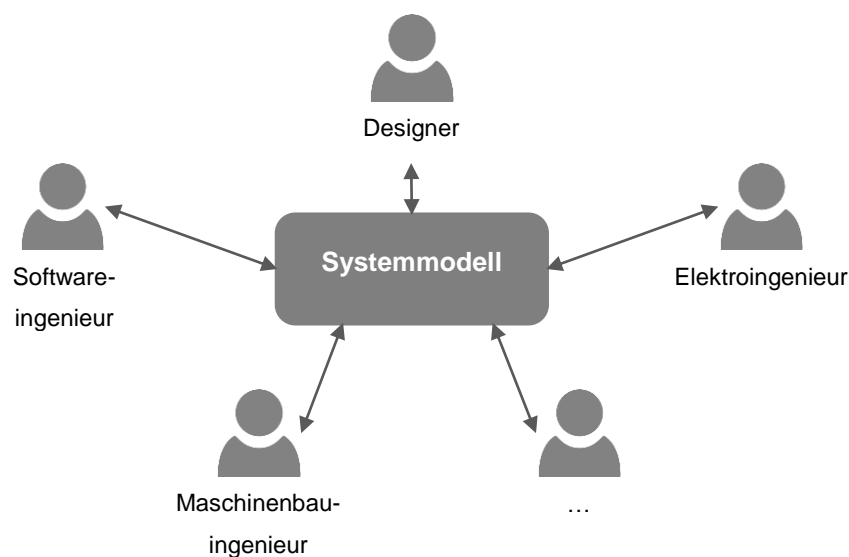


Abbildung 5-9: Struktur des MBSE [in Anlehnung an Alt12, S. 3; Zaf14, S. 82]

Die Unterstützung durch Computer ist ein wichtiger Aspekt des MBSE und grenzt es in einem weiteren Punkt vom DBSE ab. Beim DBSE werden zwar auch Informationen in Modellen festgehalten und übermittelt, allerdings handelt es sich dabei i. d. R. um rein funktionale Modelle, die entsprechend nicht formal genug sind, um von einem Rechner interpretiert und weiterverarbeitet werden zu können [SGB12, S. 42]. Der formale Modellcharakter beim MBSE garantiert im Gegensatz dazu eine eindeutige Interpretierbarkeit und darüber hinaus auch die Möglichkeit einer automatisierten Informationsausgabe [Alt12, S. 19;

FMS15, S. 19; Zaf14, S. 81]. So wird im Rahmen der modellbasierten Systementwicklung auch häufig erst von Modellen gesprochen, wenn diese formal und somit durch Computer interpretierbar sind [Alt12, S. 20]. Daneben besteht das Systemmodell meist aus einer Vielzahl verschiedener formaler Teilmodelle wie Funktions- und Strukturmodellen oder Hardware- und Softwaremodelle, deren Beziehungen untereinander ebenfalls aus dem gesamten Systemmodell ersichtlich sind [FMS15, S. 18; Win16, S. 30]. Die Nutzung eines solchen Systemmodells soll letztlich die Problematik des DBSE überwinden und bringt im Idealfall viele Vorteile mit sich, wie z. B. verbesserte Kommunikation und Qualität, aber auch eine gesteigerte Produktivität [FMS15, S. 20]. Doch trotz dem in der Literatur vielzählig postulierten Grundsatzwandel weg von Dokumenten, hin zu Modellen [vgl. Eig17, S. 10; FMS15, S. xvii; Hol15, S. 302; SGB12, S. 38], gibt es auch Autoren, die keinen vollkommenen Paradigmenwechsel sehen [vgl. LHS12, S. 1899]. Denn auch wenn der gesamte Entwicklungsprozess mit Hilfe eines gemeinsamen Systemmodells vollzogen wird, so bleiben Dokumente weiterhin ein wichtiger Bestandteil und zwar vor allem dann, wenn es darum geht Informationen nach außen weiterzugeben [LHS12, S. 1908], was wiederum vor dem Hintergrund einer teilweise verpflichtenden Dokumentation, auch im Hinblick auf rechtliche Aspekte, unumgänglich ist. Im Endeffekt kann das MBSE also nur in Kombination mit dem DBSE stattfinden und es zumindest in der internen Entwicklung vereinfachen [FMS15, S. 20].

Dennoch lässt sich ein starker Wandel in der generellen Vorgehensweise des Systems Engineering nicht abstreiten. Logan et al. sehen die Problematik daher eher in einer irreführenden Bezeichnung und stellen fest, dass sich lediglich der Fokus des Systems Engineering verändert hat, nicht aber die gesamte Basis [LHS12, S. 1911]. So sind Modelle auch Teil des DBSE und Dokumente weiterhin Bestandteil des MBSE, lediglich der Nutzungsgrad des jeweiligen Objekts variiert. Vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit geltenden Definitionen ist jedoch sowohl die Bezeichnung dokument-/modellbasiert als auch dokument-/modellzentriert nicht korrekt, da die Unterteilung des Systems Engineering in seine zwei Varianten letztlich nicht auf der Unterscheidung zwischen Modellen und Dokumenten beruht, sondern auf der Art der Informationsübermittlung. Der reinen Definition von Modellen und Dokumenten folgend, ist die Unterteilung in DBSE und MBSE also schlichtweg nicht korrekt. Da auch in Arbeiten, die den Wandel zum MBSE hervorheben, die Definition von Modellen und teils auch von Dokumenten, sofern diese überhaupt definiert werden, sich nicht von den in dieser Arbeit entwickelten Definitionen unterscheiden, wird die Problematik der Fehlbezeichnung weiter verstärkt. Die eigentliche Grundlage der Veränderung im Systems Engineering bildet die Methode mit Hilfe welcher Informationen übermittelt werden

[Eig13, S. 91]. Das im MBSE genannte Systemmodell stellt in diesem Zusammenhang lediglich eine Art computerbasierte „Informationsschaltzentrale“ dar, auf die jeder beteiligte Akteur Zugriff hat, wohingegen im DBSE Informationen manuell und vor allem mit Hilfe von Papierdokumenten weitergegeben werden.

6 Fazit

Bei der Sondierung der Literatur zur Produktentwicklung in der heutigen Zeit begegnet man immer wieder der latenten Aussage: “documents bad, models good” [LHS12, S. 1899].

Die vordergründige Feststellung ist dabei immer ein Wandel von einer dokumentbasierten zu einer modellbasierten Produktentwicklung mit der Basis des Systems Engineering. Ein solcher Wandel impliziert die eindeutige Unterscheidbarkeit von Modellen und Dokumenten. Beschäftigt man sich jedoch näher mit den beiden Konzepten, stellt man fest, dass eine Unterscheidung auf ganz allgemeiner Ebene nur sehr schwer bis gar nicht möglich ist. Zwar lassen sich Merkmale und Funktionen herausstellen, diese schließen sich gegenseitig aber nicht komplett aus. Bei dem Versuch kontextspezifisch eindeutige Unterscheidungsmöglichkeiten zu erarbeiten, zeigt sich zunächst, dass sich die grundlegenden Definitionen von Modellen und Dokumenten auch kontextspezifisch nicht unterscheiden. Zudem findet eine inkonsistente Verwendung der beiden Begriffe in der Literatur zur traditionellen Produktentwicklung statt: was für den einen Autor ein Modell darstellt (z. B. technische Zeichnung), bezeichnet der andere als Dokument.

Bezüglich der dem postulierten Wandel folgenden Trennung des Systems Engineering in das DBSE und das MBSE ergibt sich eine ganz andere Problematik. Denn obwohl die Bezeichnungen die Unterscheidung der beiden Formen auf Basis der Verwendung von Modellen und Dokumenten hervorheben, ist das eigentliche Unterscheidungsmerkmal ein ganz anderes. Der wesentliche Unterschied zwischen dem DBSE und dem MBSE liegt nämlich eben gerade nicht in der Verwendung von Modellen oder Dokumenten, sofern man mit der Definition der beiden Konzepte argumentiert, sondern schlicht in einer anderen Arbeitsweise, insbesondere einer anderen Art der Informationsübermittlung. Konkret bedeutet dies, dass zwar in beiden Konzepten sowohl Modelle als auch Dokumente verwendet werden, sich jedoch vor allem der Formalisierungsgrad der Modelle stark unterscheidet. So sind die Modelle im Rahmen des DBSE in Dokumenten manifestiert und damit zum Großteil informell, was wiederum zu einem Interpretationsspielraum der enthaltenen Information führt und sich somit bei der Vielzahl an involvierten Personen im Produktentwicklungsprozess nachteilig auswirkt bzw. auswirken kann. Im Gegensatz dazu ist die hauptsächliche Verwendung formaler Modelle Kernmerkmal des MBSE, weshalb diese Form des Systems Engineering also letztlich eine andere, effektivere, sicherere und damit bessere Art des Informationsaustausches in der Produktentwicklung darstellt, was sich daraus ergibt, dass formale Modelle generell eindeutiger und zudem durch Computer interpretierbar sind.

Die Aussage, dass sich das Systems Engineering von einem dokumentbasierten zu einem modellbasierten Ansatz wandelt, ist damit vor dem reinen Definitionshintergrund nicht korrekt. Zwar lässt sich definitiv ein Wandel erkennen, dieser bezieht sich aber ausschließlich auf die Informationsverarbeitung und -weitergabe.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Arbeit war es vor dem Hintergrund der Aussage, dass sich die Produktentwicklung, vor allem im Bereich des Systems Engineering, von einer dokumentbasierten zu einer modellbasierten wandelt, die Verwendung von Modellen und Dokumenten im Produktentwicklungsprozess zu untersuchen. Dazu wurde zunächst die notwendige Grundlage geschaffen, indem die beiden Begriffe auf allgemeiner Ebene definiert und Merkmale sowie Funktionen herausgearbeitet wurden. Im Hinblick auf Modelle konnte festgestellt werden, dass trotz der Kritik in der Literatur über eine fehlende einheitliche Definition des Modellbegriffs unbewusste Einigkeit über die Kernaspekte der Definition herrscht: ein Modell ist eine zweckgebundene Repräsentation eines Originals. Bei der Definition von Dokumenten hat sich zunächst gezeigt, dass sich der Begriff über viele Jahrzehnte hinweg stark verändert hat, aber heutzutage ein weitgehend einheitliches Verständnis darüber herrscht, was Dokumente sind: Ein Dokument ist auf einem zur langfristigen Aufbewahrung geeigneten Medium aufgezeichnete, bedeutsame und/oder rechtlich relevante Information. Weiterhin konnten sowohl für Modelle als auch Dokumente Merkmale und Funktionen herausgearbeitet werden, die jedoch kein eindeutiges Differenzierungsmerkmal darstellen, da sie sich gegenseitig nicht ausschließen. Ein Modell kann also auf allgemeiner Ebene potentiell auch Merkmale und Funktionen von Dokumenten abdecken und umgekehrt. Zu den Merkmalen von Modellen gehören das abbildende, das pragmatische und das verkürzende Merkmal sowie die Akzentuierung und die Transparenz. Dokumente sind gekennzeichnet durch Materialität, Langlebigkeit, Strukturierung, Formatierung, Authentizität, Pragmatismus und das Enthalten von Verwaltungs- und Inhaltsdaten, wobei sich die Merkmale verschiedenen Ebenen zuordnen lassen. Bezüglich der Funktionen konnten für Modelle mit der Beschreibung, der Erklärung und der Prognose drei Hauptfunktionen herausgearbeitet werden, wohingegen Dokumente mit fünf grundlegenden Funktionen in Verbindung gebracht werden können: die Speicherung bzw. Sicherung von Informationen, die Informationsverbreitung, die Nachweis- bzw. Beweisfunktion, die Informationsstrukturierung und die Informationsverwaltung.

Da auf Basis der konzeptionellen Grundlagen von Modellen und Dokumenten keine eindeutige Unterscheidungsmöglichkeit besteht, der bekundete Wandel in der Produktentwicklung jedoch eine Unterscheidbarkeit impliziert, wurde deren Verwendung innerhalb der Produktentwicklung zweigeteilt untersucht. Zunächst wurde dazu der traditionelle Produktentwicklungsprozess nach VDI Richtlinie 2221 betrachtet, woraufhin dann der neuere Ansatz des Systems Engineering behandelt wurde. Im Rahmen des traditionellen Produktentwick-

lungsprozesses hat sich gezeigt, dass Dokumente dort grundsätzlich als Ergebnis der planenden Anteile angesehen werden, welche den geringsten Anteil des Prozesses darstellen. Nach dem Vergleich der typischen Erscheinungsformen der Arbeitsergebnisse der einzelnen Schritte des traditionellen Produktentwicklungsprozesses mit der Definition sowie den Merkmalen und Funktionen von Modellen und Dokumenten hat sich ergeben, dass Modelle den weitaus größeren Anteil in der traditionellen Produktentwicklung ausmachen als Dokumente. Ungeachtet dessen werden in der Literatur Arbeitsergebnisse, die nach der für diese Arbeit geltenden Definition den Modellen zugeordnet werden müssen, von manchen Autoren ebenfalls als Dokumente erachtet. Begründen lässt sich diese differenzierte Zuordnung in der Dokumentfunktion der Informationsweitergabe, denn vor dem Hintergrund der Arbeitsteilung in der Produktentwicklung und der daraus resultierenden Notwendigkeit der Informationsweitergabe, die charakteristisch für Dokumente ist, können die identifizierten Modelle jedoch auch als Dokumente erachtet werden. Allerdings handelt es sich bei den Ergebnissen weiterhin auch um Modelle, die lediglich in Dokumenten „verpackt“ sind. Die nähere Betrachtung des Systems Engineering und seinen beiden Formen, dem DBSE und MBSE, hat einen grundlegenden Fehler in der Bezeichnung des bekundeten Wandels gezeigt, da sich die Unterscheidung in DBSE und MBSE nicht aus der Verwendung von Modellen und Dokumenten ergibt, sondern aus einer veränderten Art der Informationsübertragung. Sowohl im DBSE als auch MBSE werden dem reinen Definitionscharakter folgend Modelle **und** Dokumente eingesetzt.

Für die weitere Forschung im Bereich der Produktentwicklung und vornehmlich des Systems Engineering ergibt sich dadurch die Notwendigkeit einer Anpassung in den Bezeichnungen oder aber einer spezifischeren Definition von Modellen und Dokumenten. Denn in der bisherigen Literatur weichen die Definitionen nicht maßgeblich von den allgemeinen Definitionen ab, weshalb die Bezeichnung dokument- und modellbasiert erst fehlerhaft wird.

8 Literaturverzeichnis

- [Alt12] Alt, Oliver: Modellbasierte Systementwicklung mit SysML. 1. Auflage, München: Hanser, 2012.
- [Baw04] Bawden, David: Understanding Documents and Documentation. In: Journal of Documentation, 60 (2004), 3, S. 243–244.
- [BCK12] Bamberg, Günter; Coenenberg, Adolf Gerhard; Krapp, Michael: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 15. Auflage, München: Vahlen, 2012.
- [Bis15] Bishop, Carlee: Systems Engineering Fundamentals. In: Loper, Margaret (Hrsg): Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle - Core Concepts and Accompanying Lectures. 1. Auflage, London: Springer, S. 257–271, 2015.
- [Bra13] Braun, Andreas: Modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung - Potentiale der Modellierung von Produktentstehungsprozessen am Beispiel des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM). Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2013.
- [Bri51] Briet, Suzanne: Qu'est-ce que la documentation? 1. Auflage, Paris: ÉDIT, 1951.
- [Bro98] Broy, Manfred: Informatik - Eine grundlegende Einführung Band 1: Programmierung und Rechnerstrukturen. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 1998.
- [Buc16] Buckland, Michael K.: The Physical, Mental and Social Dimensions of Documents. In: Proceedings from the Document Academy, 3 (2016), 1, Artikel 4.
- [Buc91] Buckland, Michael K.: Information as Thing. In: Journal of the American Society for Information Science, 42 (1991), 5, S. 351–360.
- [Buc97] Buckland, Michael K.: What Is a "Document"? In: Journal of the American Society for Information Science, 48 (1997), 9, S. 804–809.
- [Buc98] Buckland, Michael K.: What Is a "digital document"? URL: <http://people.ischool.berkeley.edu/~buckland/digdoc.html> - 25.09.2017.
- [Bud79] Buddensiek, Wilfried: Pädagogische Simulationsspiele im sozio-ökonomischen Unterricht der Sekundarstufe I - Theoretische Grundlegung und Konsequenzen für die unterrichtliche Realisation. 1. Auflage, Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt, 1979.

- [Bue09] Buede, Dennis M.: The Engineering Design of Systems - Models and Methods. 2. Auflage, Hoboken (New Jersey): Wiley, 2009.
- [Chu73] Churchman, C. West: Reliability of Models in the Social Sciences. In: Interfaces, 4 (1973), 1, S. 1–12.
- [CL88] Colbe, Walther Busse von; Laßmann, Gert: Betriebswirtschaftstheorie - Band 1: Grundlagen, Produktions- und Kostentheorie. 4. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 1988.
- [Con04] Conrad, Mirko: Modell-basierter Test eingebetteter Software im Automobil. Dissertation, Technische Universität Berlin, Wiesbaden, 2004.
- [Cre15] Cremonini, Andreas: Original. In: Prechtel, Peter; Burkard, Franz-Peter (Hrsg): Metzler Lexikon Philosophie - Begriffe und Definitionen. 3. Auflage, Stuttgart: J. B. Metzler, S. 435, 2015.
- [Dah16] Dahlberg, Ingetraut: Dokumentenkunde – Dokumentologie: Damals - und heute? In: Information - Wissenschaft & Praxis, 67 (2016), 4, S. 195–203.
- [DIN13] DIN Norm, 6789: Dokumentationssystematik - Verfälschungssicherheit und Qualitätskriterien für die Freigabe digitaler Produktdaten. Berlin: Beuth, 2013.
- [DRR97] Doermann, D.; Rosenfeld, A.; Rivlin, E.: The Function of Documents. In: IEEE (Hrsg): Proceedings of the Fourth International Conference on Document Analysis and Recognition. 2. Auflage, Piscataway (New Jersey): The Institute of Electrical and Electronics Engineers, S. 1077–1081, 1997.
- [Dyc94] Dyckhoff, Harald: Betriebliche Produktion - Theoretische Grundlagen einer umweltorientierten Produktionswirtschaft. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 1994.
- [EG14] Eden, Klaus; Gebhard, Hermann: Dokumentation in der Mess- und Prüftechnik - Messen - Auswerten - Darstellen, Protokolle - Berichte - Präsentationen. 2. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [EGZ12] Eigner, Martin; Gilz, Torsten; Zafirov, Radoslav: Proposal for Functional Product Description as Part of a PLM Solution in Interdisciplinary Product Development. In: Marjanović, Dorian; Štorga, Mario; Pavković, Neven et al. (Hrsg): DESIGN 2012 - Proceedings of the 12th International Design Conference. 1. Auflage, Glasgow: The Design Society, S. 1667–1676, 2012.

- [EGZ17] Eigner, Martin; Gilz, Torsten; Zafirov, Radoslav: Interdisciplinary Product Development - Model Based Systems Engineering. URL: <http://www.plmportal.org/en/research-detail/interdisciplinary-product-development-model-based-systems-engineering.html> - 20.10.2017.
- [Ehr09] Ehrlenspiel, Klaus: Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4. Auflage, München: Hanser, 2009.
- [Eig13] Eigner, Martin: Modellbasierte Virtuelle Produktentwicklung auf einer Plattform für System Lifecycle Management. In: Sandler, Ulrich (Hrsg): Industrie 4.0 - Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 91–110, 2013.
- [Eig14a] Eigner, Martin: Überblick Disziplin-spezifische und -übergreifende Vorgehensmodelle. In: Eigner, Martin; Roubanov, Daniil; Zafirov, Radoslav (Hrsg): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 15–52, 2014.
- [Eig14b] Eigner, Martin: Modell Based Systems Engineering auf einer Plattform für PLM. In: Stelzer, Ralph (Hrsg): Entwerfen Entwickeln Erleben 2014 - Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik. 1. Auflage, Dresden: TUDpress, S. 39–56, 2014.
- [Eig17] Eigner, Martin: Ausgangssituation. In: Eigner, Martin; Koch, Walter; Muggeo, Christian (Hrsg): Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Systeme - Der PLM-unterstützte Referenzentwicklungsprozess für Produkte und Produktionssysteme. 1. Auflage, Berlin: Springer Vieweg, S. 5–12, 2017.
- [EN02] EN Norm, 82045-1: Dokumentenmanagement - Teil 1: Prinzipien und Methoden. Berlin: Beuth, 2002.
- [Epp91] Eppinger, Steven D.: Model-based Approaches to Managing Concurrent Engineering. In: Journal of Engineering Design, 2 (1991), 4, S. 283–290.
- [ERZ14] Eigner, Martin; Roubanov, Daniil; Zafirov, Radoslav (Hrsg): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2014.
- [ERZ15] Eigner, Martin; Roubanov, Daniil; Zafirov, Radoslav: Produktmodelle über den Lebenszyklus konsistent und vernetzt halten durch System Lifecycle Management. In: Konstruktion (2015), 4, S. 62–63.

- [Est08] Estefan, Jeff A.: Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. International Council on Systems Engineering, Pasadena, 2008.
- [FF19] Fowler, H. W.; Fowler, F. G.: The Concise Oxford Dictionary of Current English. 7. Auflage, London: Oxford University Press, 1919.
- [FG13] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich: Der Produktentstehungsprozess (PEP). In: Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hrsg): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 11–24, 2013.
- [FGG13] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich; Göpfert, Jan; Tretow, Gerhard: Technische Systeme. In: Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hrsg): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 237–282, 2013.
- [FGK13] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich; Kochan, Detlef; Beyer, Christiane; Vajna, Sándor; Lashin, Gamal; Kauf, Florian; Gaub, Heinz; Schacht, Mario; Erk, Patrick: Die PEP-begleitenden Prozesse. In: Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hrsg): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 25–236, 2013.
- [FGN13] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich; Nagarajah, Arun; Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Wartzack, Sandro: Vorgehen bei einzelnen Schritten des Produktentstehungsprozesses. In: Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hrsg): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 291–409, 2013.
- [FH08] Fischer, Peter; Hofer, Peter: Lexikon der Informatik. 14. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [FMS15] Friedenthal, Sanford; Moore, Alan; Steiner, Rick: A Practical Guide to SysLM - The Systems Modeling Language. 3. Auflage, Amsterdam: Elsevier, 2015.
- [Fri90] Friedrichs, Jürgen: Methoden empirischer Sozialforschung. 14. Auflage, Wiesbaden: Springer, 1990.
- [Fro09] Frohmann, Bernd: Revisiting "What Is a Document?". In: Journal of Documentation, 65 (2009), 2, S. 291–303.

- [Fuc05] Fuchs, Daniel Karl: Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, München, 2005.
- [Fv18] Frank, Ulrich; van Laak, Bodo L.: Anforderungen an Sprachen zur Modellierung von Geschäftsprozessen. URL: https://www.wi-inf.uni-duisburg-essen.de/FGFrank/documents/Arbeitsberichte_Koblenz/Nr34.pdf - 13.02.2018.
- [GAL15] Grundel, Martin; Abulawi, Jutta; Loewner, Joscha: Skizzen mit formalisierten Informationen anreichern. In: Schulze, Sven-Olaf; Muggeo, Christian (Hrsg): Tag des Systems Engineering. 1. Auflage, München: Hanser, 99-108, 2015.
- [Geu96] Geuer, Axel: Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 1996.
- [GG81] Gal, Tomas; Gehring, Hermann: Betriebswirtschaftliche Planungs- und Entscheidungstechniken. 1. Auflage, Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1981.
- [Gie90] Gierse, F. J.: Funktionen und Funktionen-Strukturen. In: VDI (Hrsg): Wertanalyse - Wertgestaltung - Value Management: Neue Impulse zum ganzheitlichen Problemlösen. 1. Auflage, Düsseldorf: VDI Verlag, 17-68, 1990.
- [GKH03] Greenough, J. B.; Kittredge, G. L.; Howard, A. A.; D'ooge, B. L.: Allen and Greenough's New Latin Grammar - for Schools and Colleges. 2. Auflage, Boston, London: Ginn & Company, 1903.
- [GL03] Grabowski, H.; Leutsch M.: Integrierte Produkt- und Produktionsmodelle als Grundlage für eine wissensbasierte Produktentwicklung. In: Nagl, Manfred; Westfechtel, Bernhard (Hrsg): Modelle, Werkzeuge und Infrastrukturen zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen - Symposium. 1. Auflage, Weinheim: Wiley-VCH, 45-58, 2003.
- [GLB12] Gausemeier, Jürgen; Lanza, Gisela; Brandis, Rinje; Peters, Steven: Integrative Entwicklung von Produkt und Produktionssystem. In: Gausemeier, Jürgen; Lanza, Gisela; Udo, Lindemann (Hrsg): Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren - Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. 1. Auflage, München: Hanser, S. 29–40, 2012.
- [God17] Godulla, Alexander: Öffentliche Kommunikation im digitalen Zeitalter - Grundlagen und Perspektiven einer integrativen Modellbildung. 1. Auflage, Wiesbaden: Springer, 2017.

- [Goo68] Goodman, Nelson: Languages of Art - An Approach to a Theory of Symbols. 1. Auflage, Indianapolis, New York, Kansas City: Bobbs-Merill, 1968.
- [GV01] Guzman, Manuel; Verstappen, Bert: Que'est-ce que la documentation? 1. Auflage, Versoix (CH): HURIDOCS, 2001.
- [Han87] Hanssmann, Friedrich: Einführung in die Systemforschung - Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung. 3. Auflage, München: Oldenbourg, 1987.
- [Hei85] Heinen, Edmund: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 9. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1985.
- [Hol15] Holland, O. Thomas: Model-Based Systems Engineering. In: Loper, Margaret (Hrsg): Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle - Core Concepts and Accompanying Lectures. 1. Auflage, London: Springer, S. 299–306, 2015.
- [HP14] Holt, Jon; Perry, Simon: SysML for Systems Engineering - A Model Based Approach. 2. Auflage, London: Institution of Engineering and Technology, 2014.
- [Hyb09] Hybertson, Duane W.: Model-Oriented Systems Engineering Science - A Unifying Framework for Traditional and Complex Systems. 1. Auflage, Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [IK08] Imboden, Dieter M.; Koch, Sabine: Systemanalyse - Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [ISO06] ISO Norm, 11442: Technische Produktdokumentation - Dokumentenmanagement. Berlin: Beuth, 2006.
- [ISO12] ISO Norm, 10209: Technische Produktdokumentation - Vokabular - Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation. Berlin: Beuth, 2012.
- [ISO15] ISO Norm, 9000: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe. Berlin: Beuth, 2015.
- [ISO17] ISO Norm, 16016: Technische Produktdokumentation - Schutzvermerke zur Beschränkung der Nutzung von Dokumenten und Produkten. Berlin: Beuth, 2017.

- [JGK11] Jenney, Joe; Gangl, Mike; Kwolek, Rick; Melton, David; Ridenour, Nancy; Coe, Martin: Modern Methods of Systems Engineering - With an Introduction to Pattern and Model Based Methods. 1. Auflage, North Charleston, SC: CreateSpace Independent Publishing, 2011.
- [JR10] Jockisch, Maike; Rosendahl, Jens: Klassifikation von Modellen. In: Bandow, Gerhard; Holzmüller, Hartmut (Hrsg): "Das ist gar kein Modell!" - Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler, S. 23–52, 2010.
- [KB08] Kastens, Uwe; Büning, Hans Kleine: Modellierung - Grundlagen und formale Methoden. 2. Auflage, München: Hanser, 2008.
- [KB79] Klaus, Georg; Buhr, Manfred (Hrsg): Marxistisch-leninistisches Wörterbuch der Philosophie. 10. Auflage, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1979.
- [Kir15] Kircher, Ernst: Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In: Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund; Häußler, Peter (Hrsg): Physikdidaktik - Theorie und Praxis. 3. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 783–804, 2015.
- [Kle09] Kleuker, Stephan: Formale Modelle der Softwareentwicklung - Model-Checking, Verifikation, Analyse und Simulation. 1. Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.
- [Kna87] Knapp, Hans-Georg: Prognosemodell in langfristiger Absicht - sein Realitätsbezug. In: Schmidt, Reinhard; Schor, Gabriel (Hrsg): Modelle in der Betriebswirtschaftslehre. 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler, S. 135–157, 1987.
- [Kos11] Kossiakoff, Alexander: Systems Engineering Principles and Practice. 2. Auflage, Hoboken (New Jersey): Wiley, 2011.
- [Kot11] Kothes, Lars: Grundlagen der Technischen Dokumentation - Anleitungen verständlich und normgerecht erstellen. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- [Krü12] Krüger, Jens: Kooperation und Wertschöpfung - Mit Beispielen aus der Produktentwicklung und unternehmensübergreifenden Logistik. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.
- [KW08] Kuhn, Axel; Wenzel, Siegrid: Simulation logistischer Systeme. In: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel et al. (Hrsg): Handbuch Logistik. 3. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 73–94, 2008.

- [Lau10] Lauer, Wolfgang M.: Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen. Dissertation, Technische Universität München, München, 2010.
- [Lev94] Levy, David M.: Fixed or Fluid? In: Ritchie, Ian; Guimarães, Nuno (Hrsg): Proceedings of the 1994 ACM European Conference on Hypermedia Technology. 1. Auflage, New York: ACM Press, S. 24–31, 1994.
- [LFG13] Lashin, Gamal; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich: Hilfsmittel für die Entwicklung und Konstruktion. In: Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hrsg): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 411–457, 2013.
- [LHS12] Logan, Paul; Harvey, David; Spencer, Daniel: Documents Are an Essential Part of Model Based Systems Engineering. In: INCOSE International Symposium, 22 (2012), 1, S. 1899–1913.
- [Lin07] Lindemann, Udo: Methodische Entwicklung technischer Produkte - Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.
- [Liu04] Liu, Ziming: The Evolution of Documents and Its Impacts. In: Journal of Documentation, 60 (2004), 3, S. 279–288.
- [Lun09] Lund, Niels Windfeld: Document Theory. In: Annual Review of Information Science and Technology, 43 (2009), 1, 9-1–9-55.
- [Lun10] Lund, Niels Windfeld: Document, Text and Medium: Concepts, Theories and Disciplines. In: Journal of Documentation, 66 (2010), 5, S. 734–749.
- [Mül12] Müller, Matthias J.: Nosologische Klassifikationssysteme und Psychopharmakologie. In: Gründer, Gerhard; Benkert, Otto (Hrsg): Handbuch der Psychopharmakotherapie. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 523–531, 2012.
- [NL16] Naefe, Paul; Luderich, Jörg: Konstruktionsmethodik für die Praxis - Effiziente Produktentwicklung in Beispielen. 1. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [NW03] Nagl, Manfred; Westfechtel, Bernhard (Hrsg): Modelle, Werkzeuge und Infrastrukturen zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen - Symposium. 1. Auflage, Weinheim: Wiley-VCH, 2003.

- [PL11] Ponn, Josef; Lindemann, Udo: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte - Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungs-lösungen. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- [Ran63] Ranganathan, Shiyali Ramamrita: Documentation and its Facets - Being a Symposium of Seventy Papers by Thirty-two Authors. 1. Auflage, Bombay: Asia Publishing House, 1963.
- [Ric09] Richter, Magnus: Zur Güte von Beschreibungsmodellen - eine erkenntnistheoretische Untersuchung. 1. Auflage, Ilmenau: proWiWi, 2009.
- [Ric13] Richter, Magnus: Modelle in der Betriebswirtschaftslehre - Ein systematischer Überblick über Merkmale, Ziele und Erscheinungsformen. In: WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 42 (2013), 6, S. 280–285.
- [Rie95] Rieger, Wolfgang: SGML für die Praxis - Ansatz und Einsatz von ISO 8879. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 1995.
- [Rog95] Rogge, Klaus-Eckart: Basiskarte: Modelle. In: Rogge, Klaus-Eckart (Hrsg): Methodenatlas. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 50–60, 1995.
- [Rop80] Ropohl, Günter: Modelle im Technikunterricht. In: Stachowiak, Herbert (Hrsg): Modelle und Modelldenken im Unterricht - Anwendungen der allgemeinen Modelltheorie auf die Unterrichtspraxis. 1. Auflage, Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt, S. 123–143, 1980.
- [RSS08] Reichle, Ingeborg; Siegel, Steffen; Spelten, Achim: Die Wirklichkeit visueller Modelle. In: Reichle, Ingeborg; Siegel, Steffen; Spelten, Achim (Hrsg): Visuelle Modelle. 1. Auflage, München: Fink, 9-13, 2008.
- [RW69] Ruben, Peter; Wolter, Helmut: Modell, Modellmethode und Wirklichkeit. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 17 (1969), 10, S. 1225–1239.
- [Sal74] Salzmann, Christian: Die Beutung des Modellbegriffs in Unterrichtsforschung und Unterrichtsplanung. In: Roth, Leo; Petrat, Gerhard (Hrsg): Unterrichtsanalysen in der Diskussion - Beiträge zur empirischen Unterrichtsforschung. 1. Auflage, Hannover: Schroedel, 171-205, 1974.
- [Sch01] Schwankl, Ludwig: Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, München, 2001.

- [Sch08] Scholl, Armin: Grundlagen der modellgestützten Planung. In: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel et al. (Hrsg): Handbuch Logistik. 3. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 35–43, 2008.
- [Sch92] Schaefer, Hans: Modelle in der Medizin - Mit einer historischen Einleitung von Dietrich von Engelhardt. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 1992.
- [Sch96] Schamber, Linda: What Is a Document? - Rethinking the Concept in Uneasy Times. In: Journal of the American Society for Information Science, 47 (1996), 9, S. 669–671.
- [SG15] Saam, Nicole J.; Gautschi, Thomas: Modellbildung in den Sozialwissenschaften. In: Braun, Norman; Saam, Nicole (Hrsg): Handbuch Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften. 1. Auflage, Wiesbaden: Springer, S. 15–60, 2015.
- [SGB12] Stelzer, Ralph; Grote, Karl-Heinrich; Brökel, Klaus et al. (Hrsg): Entwerfen Entwickeln Erleben - Methoden und Werkzeuge in der Produktenentwicklung. 1. Auflage, Dresden: TUDpress, 2012.
- [Shi00] Shillingsburg, Peter L.: Resisting Texts - Authority and Submission in Constructions of Meaning. 4. Auflage, Ann Arbor: University of Michigan Press, 2000.
- [Sim80] Simon, Hartmut: Modellmethode und Modellbildung in interdisziplinären Lehrveranstaltungen. In: Simon, Hartmut (Hrsg): Computer-Simulation und Modellbildung im Unterricht - Hochschuldidaktische Konzepte und Einsatzerfahrungen in den naturwissenschaftlichen Fächern. 1. Auflage, München: Oldenbourg, S. 235–266, 1980.
- [SK97] Schweitzer, Marcell; Küpper, Hans-Ulrich: Produktions- und Kostentheorie - Grundlagen - Anwendungen. 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1997.
- [SS87] Schmidt, Reinhard; Schor, Gabriel (Hrsg): Modelle in der Betriebswirtschaftslehre. 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1987.
- [Sta73] Stachowiak, Herbert: Allgemeine Modelltheorie. 1. Auflage, Wien: Springer, 1973.
- [Sta80] Stachowiak, Herbert: Der Modellbegriff in der Erkenntnistheorie. In: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, 11 (1980), 1, S. 53–68.

- [Str84] Strebel, Heinz: Industriebetriebslehre. 1. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer, 1984.
- [Tho17] Thomas, Marco: Modelle der Informatik für einen Informatikunterricht. URL: <https://www.informaticadidactica.de/uploads/Artikel/Thomas2003/Thomas2003.pdf> - 10.09.2017.
- [TJB10] Töllner, Alke; Jungmann, Thorsten; Bücken, Matthias; Brutscheck Tobias: Modelle und Modellierung. In: Bandow, Gerhard; Holzmüller, Hartmut (Hrsg): "Das ist gar kein Modell!" - Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler, S. 3–21, 2010.
- [Tro90] Troitzsch, Klaus G.: Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften. 1. Auflage, Opladen: Westdeutscher Verlag, 1990.
- [VDI01] VDI Richtlinie, 2519: Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheften. Berlin: Beuth, 2001.
- [VDI03] VDI Richtlinie, 2249: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - CAD-Benutzungsfunktionen. Berlin: Beuth, 2003.
- [VDI04a] VDI Richtlinie, 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin: Beuth, 2004.
- [VDI04b] VDI Richtlinie, 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Berlin: Beuth, 2004.
- [VDI06] VDI Richtlinie, 4500 Blatt 1: Technische Dokumentation - Begriffsdefinitionen und rechtliche Grundlagen. Berlin: Beuth, 2006.
- [VDI09] VDI Richtlinie, 2209: 3-D-Produktmodellierung. Berlin: Beuth, 2009.
- [VDI11] VDI Richtlinie, 4500 Blatt 4: Technische Dokumentation - Dokumentationsprozess: Planen, Gestalten, Erstellen. Berlin: Beuth, 2011.
- [VDI14] VDI Richtlinie, 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen. Berlin: Beuth, 2014.
- [VDI93] VDI Richtlinie, 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth, 1993.
- [VDI96] VDI Richtlinie, 2803 Blatt 1: Funktionenanalyse - Grundlagen und Methode. Berlin: Beuth, 1996.

- [VDI97] VDI Richtlinie, 2222: Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Berlin: Beuth, 1997.
- [Web08] Weber, Klaus H.: Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen - Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [Wei07] Weilkiens, Tim: Systems Engineering with SysML/UML - Modeling, Analysis, Design. 1. Auflage, Burlington (Massachusetts): Morgan Kaufmann Publishers, 2007.
- [Win16] Winzer, Petra: Generic Systems Engineering - Ein methodischer Ansatz zur Komplexitätsbewältigung. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- [WRF15] Walden, David D.; Roedler, Garry J.; Forsberg, Kevin; Hamelin, R. Douglas; Shortell, Thomas M.: Systems Engineering Handbook - A Guide for System Life Cycle Process and Activities. 4. Auflage, Hoboken (New Jersey): Wiley, 2015.
- [Wüs63] Wüstneck, Klaus Dieter: Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 11 (1963), 12, S. 1504–1523.
- [Zaf14] Zafirov, Radoslav: Modellbildung und Spezifikation. In: Eigner, Martin; Roubanov, Daniil; Zafirov, Radoslav (Hrsg): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 77–96, 2014.
- [Zel08] Zelewski, Stephan: Grundlagen. In: Corsten, Hans; Reiß, Michael (Hrsg): Betriebswirtschaftslehre Band 1 - Grundlagen, internes Rechnungswesen, externes Rechnungswesen, Beschaffung, Produktion und Logistik, Marketing, Investition und Finanzierung. 4. Auflage, München: Oldenbourg, S. 1–97, 2008.
- [Zsc95] Zschocke, Dietrich: Modellbildung in der Ökonomie - Modell - Information - Sprache. 1. Auflage, München: Vahlen, 1995.

A Überblick verschiedener Modelldefinitionen

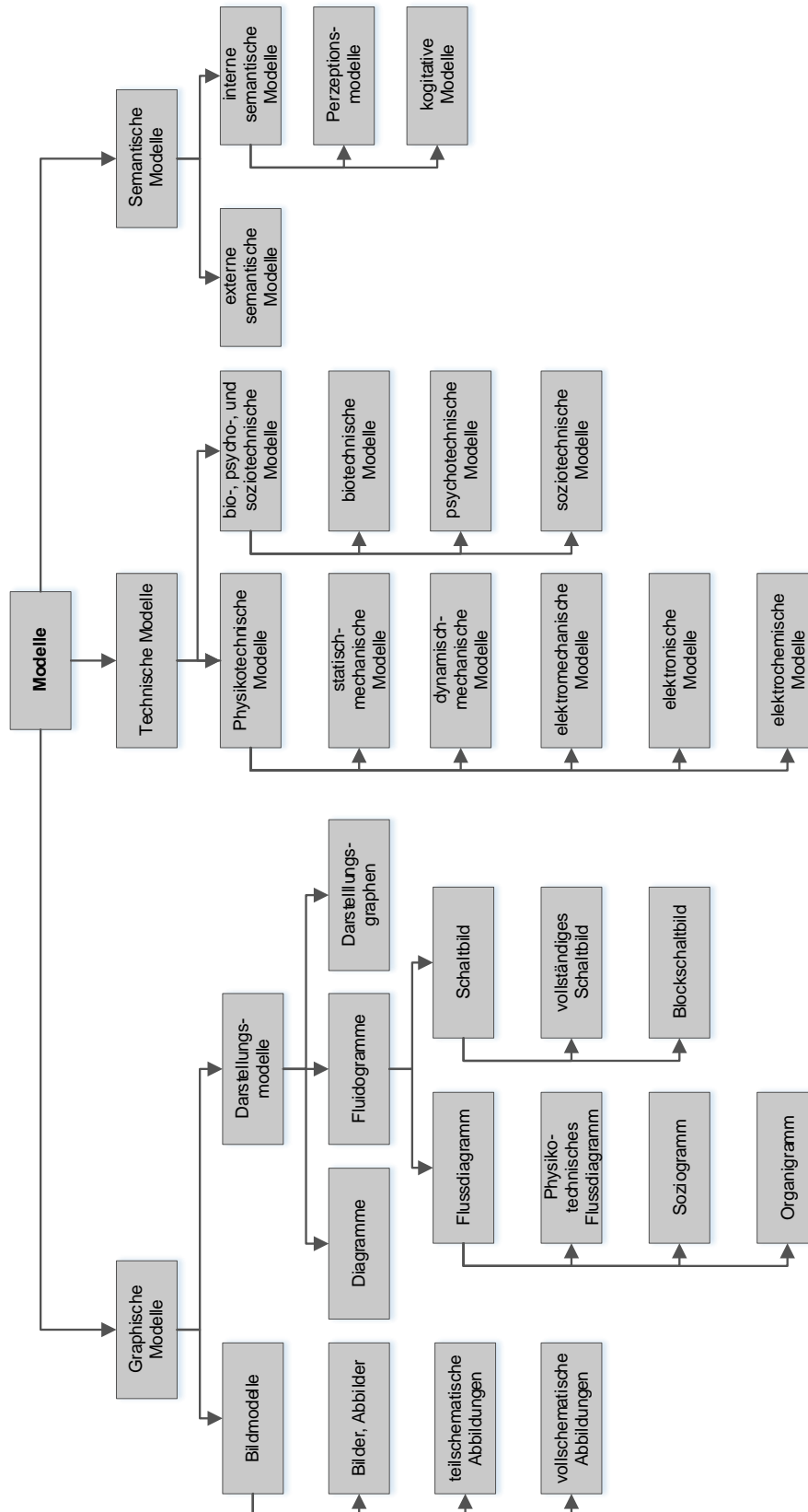
Nr.	Definition	Quelle
(1)	„Ein Modell ist ein System, das als Repräsentant eines komplizierten Originals auf Grund mit diesem gemeinsamer, für eine bestimmte Aufgabe wesentlicher Eigenschaften von einem dritten System benutzt, ausgewählt oder geschaffen wird, um letzterem die Erfassung oder Beherrschung des Originals zu ermöglichen oder zu erleichtern bzw. um es zu ersetzen.“	[Wüs63, S. 1522f.]
(2)	„Es sei ω ein Original (das schon vorhanden ist oder erst erzeugt werden soll) und $M(\omega)$ eine (nicht leere) Menge von Aussagen über ω . [...]. Dann heißt μ Modell für die Menge $M(\omega)$ genau dann, wenn μ ein System ist, in dem alle Aussagen aus $M(\mu)$ gültig sind, wobei man $M(\mu)$ aus $M(\omega)$ dadurch erhält, daß man in jeder Aussage aus $M(\omega)$ ω durch μ ersetzt.“	[RW69, S. 1229]
(3)	“A model is a device for helping man to think rationally.”	[Chu73, S. 1]
(4)	„Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“	[Sta73, S. 131]
(5)	„[Ein Modell ist] ein Objekt, das auf der Grundlage einer Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original von einem Subjekt eingesetzt und genutzt wird, um eine bestimmte Aufgabe lösen zu können, deren Durchführung mittels direkter Operationen am Original zunächst oder überhaupt nicht möglich bzw. unter gegebenen Bedingungen zu aufwendig ist.“	[KB79, S. 805]
(6)	„Mit Modell bezeichnet man eine Abbildung (analoge Abstraktion) eines Objekts (Originals), das ein Subjekt zu bestimmten Zwecken an Stelle des Objekts verwendet.“	[Sim80, S. 235]
(7)	„Ein Modell ist ein System, welches einem zu beschreibenden, zu erklärenden oder zu gestaltenden Originalsystem zugeordnet und „ähnlich“ ist; die Art der Ähnlichkeitsbeziehung zwischen Original und Modell wird vom jeweiligen Untersuchungszweck bestimmt.“	[GG81, S. 12]
(8)	„[Ein Modell ist] eine vereinfachende Abbildung von Tatbeständen und Prozessen.“	[Str84, S. 68]
(9)	„Ein Modell ist zunächst ein künstlich geschaffener Gegenstand, der in vereinfachter Weise die wesentlichsten Merkmale eines Ausschnittes der Wirklichkeit wiedergibt.“	[Hei85, S. 19]

(10)	„Ein Modell ist stets eine für einen bestimmten Zweck gebildete, vereinfachende Abbildung eines als System aufgefaßten Realitätsausschnitts.“	[Ros86, S. 86f.]
(11)	„Ein Modell ist in jedem Fall ein vereinfachtes Abbild einer komplizierten Wirklichkeit.“	[Han87, S. 84]
(12)	„Gemäß einer weit verbreiteten Auffassung sind Modelle ganz allgemein Abbilder der Realität.“	[Kna87, S. 135]
(13)	„Unter einem Modell versteht man ein <u>Aussagesystem</u> , dessen Elemente, die Einzelaussagen, hierarchisch geordnet sind, so daß sich Annahmen (Prämissen) und Implikationen (Modellergebnisse) unterscheiden lassen.“	[SS87, S. 14]
(14)	„Eine vereinfachte problemadäquate Abbildung eines Ausschnittes der Wirklichkeit durch ein abstraktes System nennt man gewöhnlich ein Modell.“	[CL88, S. 48]
(15)	„Unter einem Modell kann man allgemein die sinnhafte Abbildung eines oder mehrerer ähnlicher Systeme (Urbilder, Originale) auf ein anderes System (Abbild, Bild) verstehen.“	[Dyc94, S. 23]
(16)	„[Ein Modell ist] eine vereinfachte Abbildung, die zu dem Zweck ersonnen wurde, das unverständene Objekt handlicher und ‚verständlicher‘ zu machen.“	[Sch92, S. 59]
(17)	„Abstrahierte Darstellung eines Produkts (z. B. durch dessen Daten, Eigenschaften oder Gestalt).“	[VDI93, S. 41]
(18)	„Ein Modell soll ein Bild von etwas für jemanden sein.“	[Zsc95, S. 251]
(19)	„Modelle sind [...] alle körperlichen Abbildungen des Produktentwurfes, die zumindest in einzelnen Gestaltelementen, wie beispielsweise Form, Material oder Farbe, noch nicht voll dem später zu vermarktenden Produkt entsprechen.“	[Geu96, S. 3]
(20)	„Ein Modell ist eine isomorphe (homomorphe) Abbildung eines Teilzusammenhangs aus einem (realen) Betrachtungsgegenstand.“	[SK97, S. 2]
(21)	„Ein Modell ist ein dem Zweck entsprechender Repräsentant (Vertreter) eines Originals.“	[VDI03, S. 14]
(22)	Das Modell stellt ein Abbild der Realität dar, welches Informationen in eine individuelle Struktur bringt, um ein subjektives Ordnungsverständnis aufzubauen.	[Fuc05, S. vi]
(23)	„Ein Modell ist ein (vereinfachtes) Abbild eines realen Systems oder Problems (Urbild).“	[Sch08, S. 36]

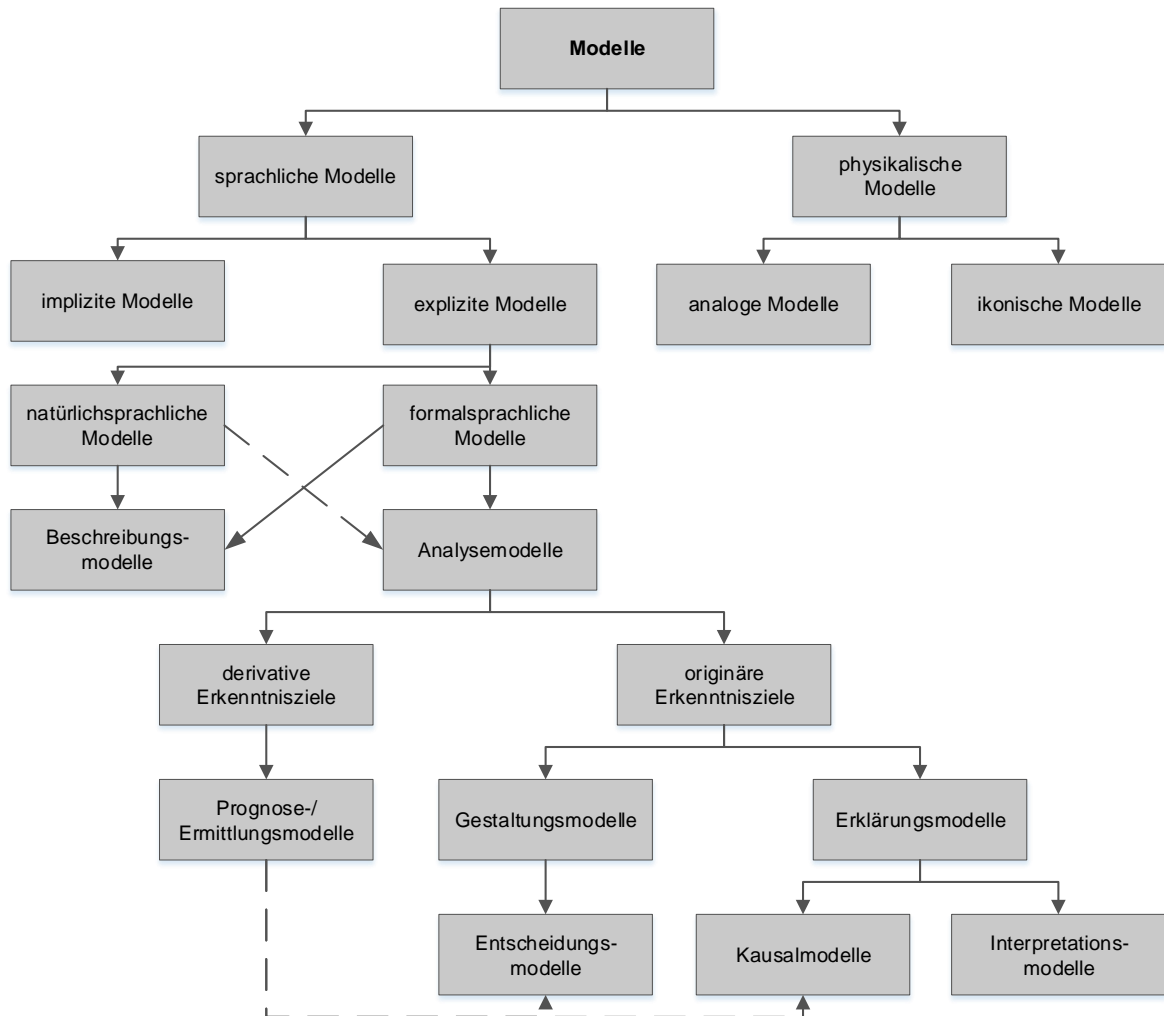
(24)	„Modelle sind alle problemrepräsentierenden Artefakte, die in der Absicht erschaffen wurden, ein problemkonstituierendes Diskrepanzempfinden zu beseitigen.“	[Zel08, S. 43]
(25)	„Ein Modell ist gegenüber einem Objekt ein vereinfachtes gedankliches oder stoffliches Gebilde, das Analogien zu diesem Objekt aufweist. Damit können aus dem Verhalten des Modells Rückschlüsse auf das Objekt gezogen werden.“	[Ehr09, S. 640]
(26)	„Ein Modell ist das vereinfachte Abbild einer Realität, wobei Schlüsse, die aus der Untersuchung des Modells gewonnen wurden, auf die Realität übertragen werden können. Dabei heißt ein Modell passend zu einer Aufgabenstellung, wenn es zur korrekten Lösung der Aufgabenstellung beitragen kann.“	[Kle09, S. 1]
(27)	„Ein Modell ist eine dem Zweck entsprechende Repräsentation (der Vertreter) eines Originals.“	[VDI09, S. 158]
(28)	„Ein Modell ist eine zweckorientierte relationseindeutige Abbildung der Realität.“	[BCK12, S. 14]
(29)	„[Ein Modell ist eine] isomorphe Abbildung eines als empirisches System vorliegenden Ausschnittes der Wirklichkeit.“	[BCK12, S. 14]
(30)	„Ein Modell ist eine dem Zweck entsprechende Repräsentation (der Vertreter) eines Originals.“	[LFG13, S. 417]
(31)	„Als Modell gilt die zweckmäßig verkürzte Abbildung eines Originals, die der Modellbauer zur Erreichung eines bestimmten Erkenntnisziels konstruiert.“	[Ric13, S. 284]
(32)	„Modelle [sind] Hilfsmittel [...], mit denen eine gedankliche Verbindung zwischen der Außenwelt (z. B. betrieblichen Sachverhalten) und der Innenwelt des Menschen (Verstand) hergestellt wird.“	[Ric13, S. 281]
(33)	„Ein Modell ist ein Abbild bzw. ein Vorbild für ein System oder einen Prozess. Ein Modell kann ein begriffliches (z. B. mathematisches, informationstechnisches) oder ein physisches (z. B. maßstäblicher stofflicher Prototyp) Gebilde sein.“	[ERZ14, S. 80]
(34)	„Vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System.“	[VDI14, S. 3]

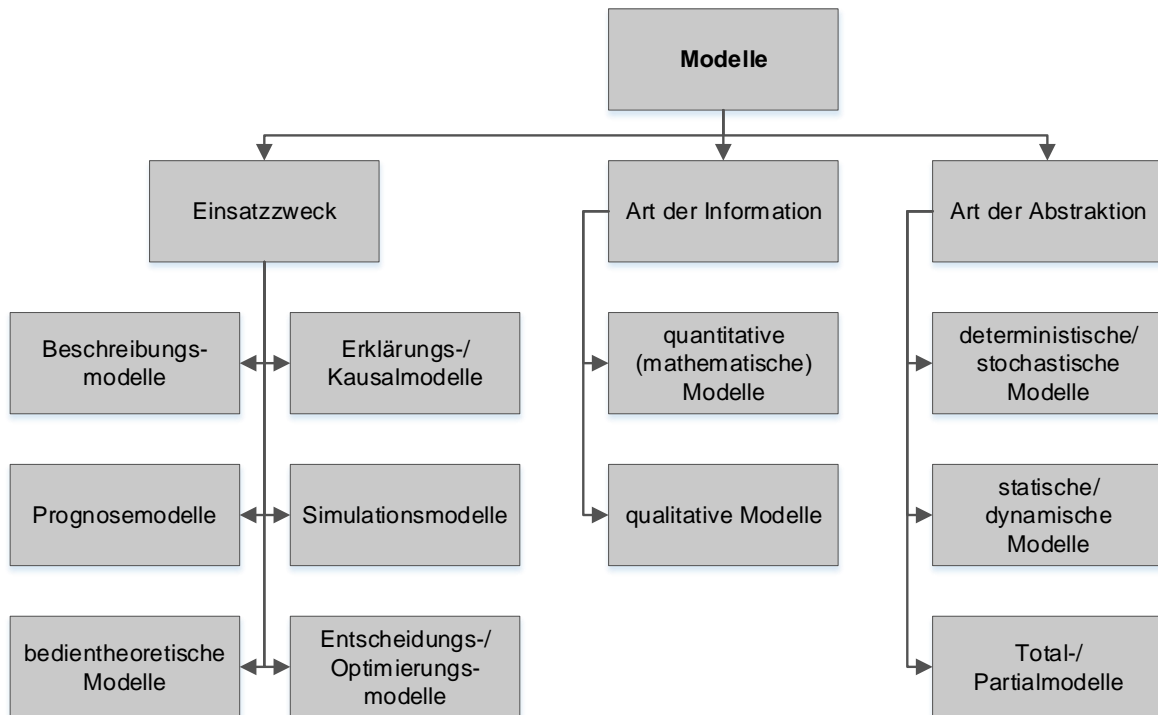
B Modellklassifikation

B.1 nach Stachowiak (in Anlehnung an [Sta80, S. 32ff.])

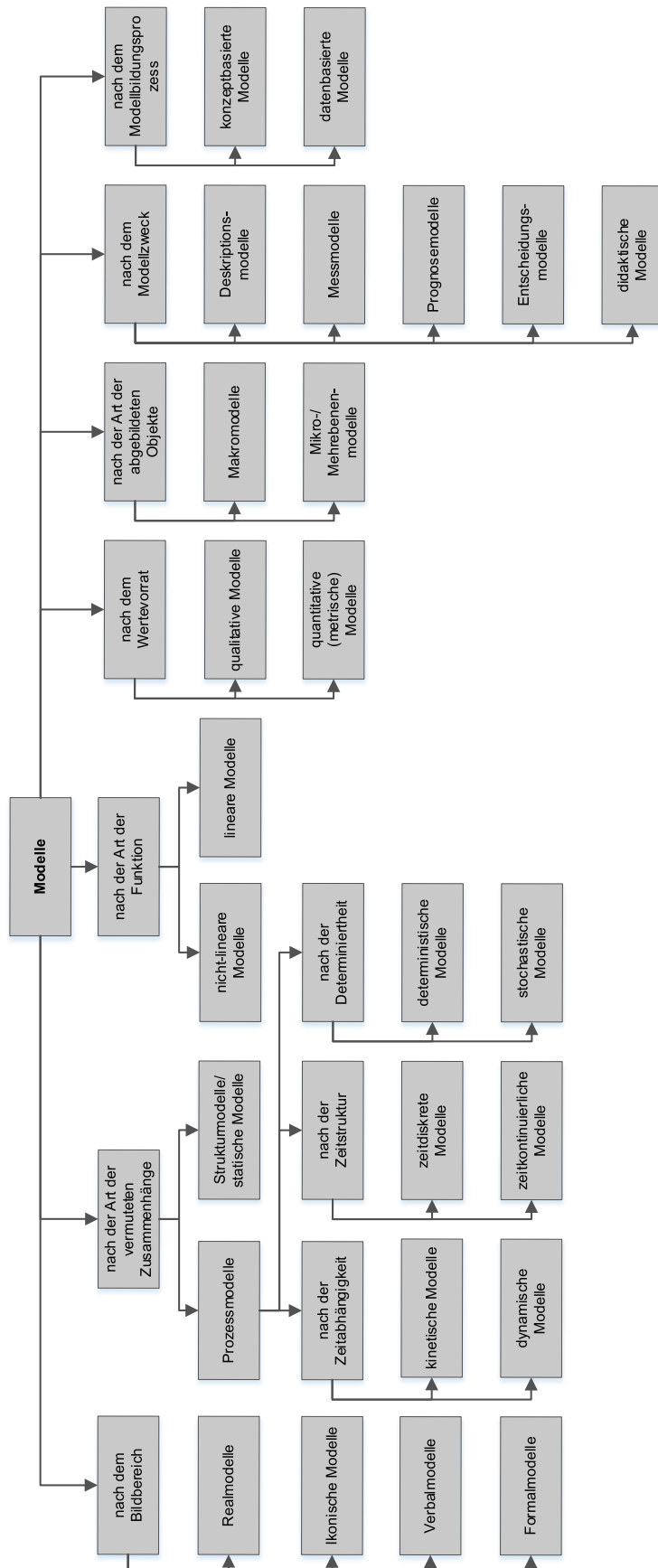


B.2 nach Zelewski [Zel08, S. 45]



B.3 nach Scholl (in Anlehnung an [JR10, S. 38; Sch08, S. 36f.])

B.4 nach Troitzsch (in Anlehnung an [Tro90, S. 12ff.])



C Überblick verschiedener Dokumentdefinitionen

Nr.	Definition	Quelle
(1)	"Thing, esp. deed, writing, or inscription, that furnishes evidence."	[FF19, S. 244]
(2)	« Un document est une preuve à l'appui d'un fait. » ¹²	[Bri51, S. 7]
(3)	« tout indice concret ou symbolique, conservé ou enregistré, aux fins de représenter, de reconstituer ou de prouver un phénomène ou physique ou intellectuel. » ¹³	[Bri51, S. 7]
(4)	"[A document is an] embodied thought."	[Ran63, S. 29]
(5)	"Record - made on more or less flat surface or on surface admitting of being spread flat when required, made of paper or other material fit for easy handling, transport across space, and preservation through time - of thought created by mind and expressed in language or symbols or in any other mode, and/or record of natural or social phenomena made directly by instrument without being passed through human mind and woven into thought created and expressed by it."	[Ran63, S. 40]
(6)	"any document is a unit containing some representation of information with potential meaning and use."	[Sch96, S. 671]
(7)	"Then consider a definition of document as a unit: Consisting of dynamic, flexible, nonlinear content, represented as a set of linked information items, stored in one or more physical media or networked sites; created and used by one or more individuals in the facilitation of some process or project."	[Sch96, S. 671]
(8)	"A document is the repository of an expressed thought."	[Buc97, S. 806]
(9)	"Ordinarily the word 'document' denotes a textual record."	[Buc97, S. 804]
(10)	"The word document can be used to refer to the physical vehicle of the linguistic text."	[Shi00, S. 73]
(11)	« Un document est un porteur ou un contenant d'information. » ¹⁴	[GV01, S. 16]

¹² „Ein Dokument ist ein Beweis zum Beleg einer Tatsache.“ (Übersetzung des Verfassers)

¹³ „Jeder konkrete oder symbolische Hinweis, der zwecks Repräsentation, Rekonstruktion oder Beweis eines physischen oder intellektuellen Phänomens aufbewahrt oder aufgenommen ist.“ (Übersetzung durch den Verfasser)

¹⁴ „Ein Dokument ist ein Träger oder ein Behältnis von Information.“ (Übersetzung durch den Verfasser)

(12)	„festgelegte und strukturierte Menge von Informationen, die als Einheit verwaltet und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden kann.“	[EN02, S. 8]
(13)	“a 'document' is some physical thing which records thoughts or ideas”.	[Baw04, S. 243]
(14)	„Aufgezeichnete Information oder Informationsträger, die/der in einem Dokumentationsprozess als Einheit gehandhabt wird.“	[VDI06, S. 39]
(15)	„Dokument ist eine materielle Unterlage/Beleg (gegenständlich) bzw. Datei (elektronisch) mit strukturierten, zusammengehörigen Aufzeichnungen/Informationen über ein Projekt bzw. Objekt.“	[Web08, S. 12]
(16)	“any results of human efforts to tell, instruct, demonstrate, teach or produce a play, in short to document, by using some means in some ways.”	[Lun10, S. 743]
(17)	„jegliches Medium, auf oder in dem Informationen aufgezeichnet sind.“	[ISO12, S. 72]
(18)	„[Ein Dokument ist die] als Einheit gehandhabte Zusammenfassung oder Zusammenstellung von Informationen, die nicht-flüchtig auf einem Informationsträger gespeichert sind.“	[DIN13, S. 5]
(19)	„Information [...], einschließlich des Trägermediums.“	[ISO15, S. 47]
(20)	„Ein Dokument ist die Einheit von Datenträger und auf ihm fixierten Daten, die geeignet ist, in den Dokumentationsprozess einzugehen.“	[Dah16, S. 196]
(21)	„Informationsträger mit auf oder in ihm aufgezeichneten Informationen.“	[ISO17, S. 7]